

POUR COMPTE RENDU

PRIX 75

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

115

EXPOSÉS D'ASTRONOMIE STELLAIRE

Publiés sous la direction de
M. HENRI MINEUR

Astronome à l'Observatoire de Paris
Maître de Recherches

I

HISTOIRE

DE

L'ASTRONOMIE STELLAIRE

JUSQU'A L'ÉPOQUE CONTEMPORAINE

PAR

H. MINEUR



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

—
1934

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie}

6, rue de la Sorbonne, Paris V^e

Actualités Scientifiques et Industrielles

Série 1929 :

I. L. DE BROGLIE. La crise récente de l'optique ondulatoire.	
II. G. FOEX. Les substances mésomorphes, leurs propriétés magnétiques.	
III. BLOCH EUGÈNE. Les atomes de lumière et les quanta.	
IV. L. DUNOYER. La cellule photo-électrique et ses applications.	
V. G. RIBAUD. Le rayonnement des corps incandescents.	
VI. Lt.-Colonel JULLIEN. Applications du courant électrique à la réalisation d'instruments de musique.	
VII. BLOCH LÉON. Structure des spectres et structure des atomes.	
VIII. V. KAMMERER. Les hautes pressions de vapeur.	
IX. R. MESNY. Les ondes dirigées et leurs applications.	
<i>Conférences réunies en un volume.</i>	35 fr.

Série 1930 :

X. G. RIBAUD. Température des flammes	5 fr.
XI. J. CABANNES. Anisotropie des molécules. Effet Raman	8 fr.
XII. P. FLEURY. Couleurs et colorimétrie	5 fr.
XIII. G. GUTTON. Les ondes électriques de très courtes longueurs et leurs applications.	4 fr.
XIV. P. DAVID. L'électro-acoustique	5 fr.
XV. L. BRILLOUIN. Les statistiques quantiques	5 fr.
XVI. F. BALDET. La constitution des comètes	5 fr.
XVII. G. DARMOIS. La structure et les mouvements de l'univers stellaire.	3 fr.

Série 1931 :

XIX. A. PÉRARD. La haute précision des mesures de longueur	5 fr.
XX. P. AUGER. L'effet photo-électrique des rayons X dans les gaz.	5 fr.
XXII. F. PERRIN. Fluorescence, durée élémentaire d'émission lumineuse.	5 fr.
XXIII. M. DE BROGLIE. Désintégration artificielle des éléments par bombardement des rayons alpha	5 fr.
XXV. J.-J. TRILLAT. Les applications des rayons X à l'étude des composés organiques.	5 fr.
XXVI. J.-J. TRILLAT. L'état liquide et les états mésomorphes	5 fr.
XXVII. PH. LE CORBEILLER. Les systèmes auto-entretenus et les oscillations de relaxation.	8 fr.
XXVIII. F. BEDEAU. Le quartz piézo-électrique, ses applications à la T. S. F.	5 fr.
XXIX. E. DARMOIS. L'hydrogène est un mélange : Ortho et para-hydrogène	5 fr.
XXX. R. AUDUBERT. Les piles sensibles à l'action de la lumière	8 fr.

Série 1932 :

(Voir quatrième page de la couverture).

D. S. Mahavari

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

115

EXPOSÉS D'ASTRONOMIE STELLAIRE

Publiés sous la direction de

M. HENRI MINEUR

Astronome à l'Observatoire de Paris

Maître de Recherches

I

HISTOIRE

DE

L'ASTRONOMIE STELLAIRE

JUSQU'A L'ÉPOQUE CONTEMPORAINE

PAR

H. MINEUR



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1934

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1934 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie}.



PRÉFACE



N publiant le premier fascicule de la série des exposés d'astronomie stellaire, je crois devoir définir le but de cette nouvelle collection.

Actuellement il est difficile, sinon impossible, de publier ce que l'on appelait autrefois « un traité ». Les raisons en sont diverses :

La première est que le domaine d'activité des sciences s'élargit rapidement. Il devient donc maintenant difficile à un mathématicien de concevoir toutes les mathématiques, à un physicien de concevoir toute la physique, à un astronome de concevoir toute l'astronomie. Non seulement le temps des encyclopédistes n'est plus, mais le temps des spécialistes de chaque science, au sens d'Auguste Comte, appartient déjà au passé. Demandez à un astronome qui a consacré son activité à la photométrie des étoiles variables, son avis sur la structure de la voie lactée, il vous répondra peut-être qu'il ignore cette question ou même qu'elle ne l'intéresse pas.

Quelques savants cependant cherchent à étendre leur activité à toutes les branches de leur science ; mais la tâche leur est rendue singulièrement difficile par l'extension de celle-ci. D'une part il leur faut consacrer beaucoup de temps à lire les publications qui paraissent journallement et l'on sait avec quelle rapidité la production scientifique augmente ; d'Alembert déplorait déjà la croissance trop rapide du nombre des mémoires qu'un savant doit lire pour se tenir au courant de sa science ; que dirait-il s'il revenait aujourd'hui !

D'autre part ces savants qui cherchent à assimiler l'ensemble d'une science, rencontrent maintenant des difficultés d'un autre ordre : Leurs études les conduisent souvent à appliquer les méthodes et les résultats de sciences autres que la leur et avec lesquelles ils ne sont pas familiarisés.

Pour ces deux raisons, les savants restreignent actuellement le domaine de leur activité et les traités deviennent plus rares parce qu'il est plus difficile de les écrire.

L'extension prise par chaque science rend également difficile la lecture d'un traité parce que le lecteur n'a plus la possibilité de le lire avec fruit.

La spécialisation frappe en même temps le producteur et le consommateur de la publication scientifique. L'étudiant, le dilettante même, ne cherchent plus à lire un « traité », trop général à leur gré, ils demandent des précisions sur un point particulier de la science ; ils demandent également à être tenus au courant de l'état actuel de celle-ci.

Ceci nous conduit à constater un fait, non moins important que celui de l'extension prise par chaque science : La rapidité actuelle des progrès de la science. C'est là une seconde raison qui interdit presque la publication de gros traités.

Les expériences nouvelles, les points de vue nouveaux, les théories nouvelles, se succèdent à une cadence telle que même celui qui a le temps de les comprendre et de les assimiler, n'a pas le temps de rédiger un traité ; à peine arrive-t-il à la fin de l'ouvrage, que le début en est à refaire ; si malgré cela, il publie son œuvre, elle vieillit rapidement ou se trouve être démodée avant que de paraître. Ceci est particulièrement vrai en astronomie stellaire, et rend difficile non seulement l'exposé de cette science mais aussi sa pratique.

Enfin, et c'est là une troisième raison, bon gré mal gré, il faut tenir compte des circonstances économiques : Un éditeur ne peut plus publier un traité. S'il le fait paraître, en effet, le public ne l'achète pas parce qu'il est trop cher et que seule une partie de cet ouvrage l'intéresse ; de plus, au bout de peu d'années, de nombreux chapitres sont à refaire comme nous venons de le dire.

La Librairie Hermann et C^{ie}, qui vit en contact perpétuel avec les praticiens de toutes les sciences, a fort bien saisi les circons-

tances de la vie scientifique moderne et a trouvé la formule nouvelle de publication qui s'y adapte : Une série d'exposés, relatifs chacun à un point particulier, comprenant de vingt à quarante pages et confiés à des savants spécialistes. De cette manière l'auteur peut rédiger convenablement chaque fascicule en un temps assez court, le lecteur choisit l'exposé qui l'intéresse et, si un progrès nouveau survient, il suffit de rééditer après modification, un livret de 30 pages et non un ouvrage de 800 pages.

Pour la rédaction de ces exposés, la librairie s'est adressée non seulement à des maîtres qualifiés et d'une autorité reconnue, mais aussi à des travailleurs de la jeune génération. Il faut lui savoir gré de les avoir aidés ainsi à poursuivre la tâche de leurs aînés dans la recherche scientifique et à préparer l'avenir.

Ainsi se concilient les exigences économiques de la vie moderne et les besoins du mouvement scientifique contemporain.

Il nous a donc paru intéressant de créer une série d'astronomie stellaire s'inspirant des mêmes principes que les collections déjà existantes.

Depuis le *Traité d'astronomie stellaire* de Ch. André, paru en 1900, aucun ouvrage ni aucune collection française n'ont été publiés sur cette question et les recherches d'astronomie stellaire ont été par trop abandonnées chez nous.

Pourtant, c'est en France que cette science devrait briller. L'astronomie d'observation ne nous offre, il est vrai, qu'un champ assez restreint, car nous n'avons pas les puissants instruments dont on dispose ailleurs, et encore est-il que ceux-ci sont insuffisants.

Mais il nous reste un champ de recherches encore très vaste : Utiliser les résultats expérimentaux publiés par les observatoires plus fortunés que les nôtres, et en tirer des conclusions. Pour effectuer un tel travail, point n'est besoin d'installations coûteuses. Il faut, par contre, des qualités d'esprit et des connaissances théoriques que notre enseignement supérieur, l'un des plus remarquables du monde entier, développe chez ses étudiants avides de science et de nouveautés.

Avant d'entreprendre des recherches dans une branche de la science, il faut connaître son état actuel, ses méthodes, ses documents.

Le domaine de l'astronomie stellaire est très vaste, on peut diviser cette science en deux branches :

Astronomie stellaire statistique.

Physique stellaire.

Nous comprenons dans la première branche les recherches relatives à la distribution des étoiles dans l'espace et à leurs mouvements.

Nous classons dans la physique stellaire l'étude individuelle des étoiles, par exemple l'étude spectroscopique de leurs atmosphères, le problème théorique de l'état intérieur des étoiles, l'étude des étoiles variables.

Dans ce premier fascicule, nous exposerons l'histoire de l'astronomie stellaire statistique, et les fascicules qui suivront immédiatement seront presque tous relatifs à cette première branche de l'astronomie stellaire.

L'astronomie stellaire statistique forme en effet un ensemble vaste et cohérent ; les recherches faites sur ce sujet permettent actuellement d'entrevoir la structure de l'univers stellaire et les mouvements des étoiles. C'est là un des principaux buts de l'astronomie.

L'astronomie stellaire, comme toute science du reste, est en perpétuel devenir, aussi nous garderons-nous toujours d'apporter hâtivement des solutions définitives et chercherons-nous plutôt à exposer les méthodes et les résultats de cette science.

De nombreux problèmes d'astronomie stellaire sont encore en litige et cela ne nous empêchera pas de les exposer. Bien au contraire nous pensons que ceux-là sont les plus intéressants à faire connaître, car leur solution ne viendra que de l'effort conjugué des chercheurs. La science astronomique, d'observation et mathématique, n'admet point de subterfuge.

Nous avons nourri également l'espoir d'amener de jeunes étudiants à l'étude de l'astronomie stellaire, science remplie de promesses, car, en ce domaine, des découvertes merveilleuses attendent les chercheurs et les savants obstinés.

Depuis des siècles, depuis toujours, on a essayé de connaître la nature et le mouvement des étoiles et actuellement cette science ne peut nous être indifférente, elle nous touche de trop près ; tous ces astres ne sont plus des masses inertes et lumineuses, c'est le mouvement, c'est la vie, la vie immense et universelle.

Un esprit cultivé ne peut vivre au milieu de cet univers de mondes sans chercher à en dévoiler les énigmes ; il est poussé par goût ou par besoin à chercher à connaître les vérités révélées par les conquêtes de l'astronomie moderne, dont les progrès depuis un demi-siècle, ont surpassé ceux réalisés pendant tous les siècles précédents, nobles et pacifiques conquêtes de l'esprit humain.

HENRI MINEUR



HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE STELLAIRE JUSQU'A L'ÉPOQUE CONTEMPORAINE



ous allons passer en revue les idées que l'homme, au cours des âges, s'est fait de la forme du monde stellaire. Sans méconnaître les travaux antérieurs à notre époque, seule l'histoire de l'astronomie stellaire statistique durant les dernières années présente un intérêt réel.

Toutefois l'exposé succinct des conceptions anciennes aura au moins le mérite de nous montrer que l'astronomie stellaire est une science très jeune qui a à peine deux siècles d'existence.

Le monde antique et l'astronomie médiévale.

Hipparque. — Les anciens ont étudié les planètes et ne se sont guère occupés des étoiles. Nous leur devons cependant la répartition des astres en constellations, ainsi que les noms de la plupart de celles-ci. Hipparque, en l'an 130 av. J.-C., avait dressé un catalogue d'étoiles dans lequel il donnait les positions (longitude et latitude écliptiques) d'un millier d'étoiles visibles sous le ciel de Rhodes. Il indiquait également les grandeurs des étoiles grossièrement estimées. La précision de ces observations est médiocre, pour nous autres modernes ; les erreurs d'un degré et plus sur la position d'une étoile y sont fréquentes.

Le catalogue d'Hipparque ne nous est pas parvenu directement, il a été reproduit par Ptolémée dans son *Almageste*, sans doute sans observations nouvelles. Il constitue le seul document que le monde ancien nous ait légué en astronomie stellaire, document qui ne nous est finalement d'aucune utilité. C'est peu, mais les anciens ne pouvaient obtenir de meilleurs résultats.

Conceptions antiques de l'univers. — Quant aux conceptions des anciens sur la structure du monde stellaire et sur la nature des étoiles, elles se réduisent en moyenne à ceci :

Les étoiles sont fixées comme des clous à une sphère de cristal appelée sphère céleste, concentrique à la terre. Cette sphère tourne en un jour autour de la ligne des pôles.

A l'intérieur de cette voûte céleste d'autres sphères de cristal portent le soleil, la lune et les planètes.

Nous ne nous arrêterons donc pas à décrire toutes les idées plus ou moins fantaisistes qui ont été émises autrefois sur la nature des astres. Œnopide, par exemple, considérerait la voie lactée comme « la route primitivement suivie par la soleil, mais Apollon terrifié par l'horrible festin d'Atrée et de Thyeste aurait détourné son char de cette voie ». De telles explications nous montrent que les connaissances des anciens en astronomie stellaire peuvent être considérées comme inexistantes.

Je sais que l'on cherche parfois à attribuer aux anciens une connaissance du monde supérieure à celle que je leur accorde. On cite, pour appuyer cette thèse, des extraits d'auteurs anciens ; convenablement interprétés, ces extraits semblent révéler chez leurs auteurs des connaissances dont on situe d'ordinaire la découverte à une date postérieure. J'avoue que cette argumentation ne me convainc pas, car, dans la masse des écrits anciens, dans la multitude des hypothèses plus ou moins gratuites qui ont pu être proposées, il ne faut pas s'étonner d'en trouver quelques-unes auxquelles, avec de la bonne volonté, on peut attribuer une valeur actuelle ; mais cela n'est qu'un pur hasard. De plus une théorie ne prend de valeur et de signification que si elle est appuyée et vérifiée par l'expérience ou l'observation.

Par exemple, c'est bien à Newton que l'on doit attribuer la découverte de l'attraction universelle, car il fut le premier à montrer que la loi en raison inverse du carré de la distance expliquait les mouvements planétaires.

Il n'en reste pas moins que, compte tenu des moyens matériels et mathématiques dont ils disposaient, de nombreux savants de l'antiquité furent des hommes remarquables dont les conceptions et les travaux doivent être admirés au même titre que ceux de nos savants modernes.

L'astronomie médiévale. — A partir de l'ère chrétienne la science tombe en sommeil, on n'observe plus, on se borne à répéter les textes anciens. En 1437, Ulugh Beigh publie un catalogue de 1.000 positions d'étoiles observées à Samarkande, mais la précision de ces mesures est toujours faible, l'erreur moyenne d'une position est 40'.

Nous n'en dirons pas autant des observations de Tycho Brahé, astronome danois, qui publie, en 1550, un catalogue de 1.005 étoiles observées par lui-même à Uranibourg. L'erreur moyenne de ses observations n'est que de 4'. Résultat remarquable si on songe que l'œil de cet astronome ne s'aidait d'aucun verre d'optique.

Du reste, c'est grâce aux observations des planètes faites par Tycho que Képler a découvert les trois lois des mouvements planétaires, qui portent son nom. Tycho n'a pas déterminé à nouveau les grandeurs stellaires, il a recopié celles de l'Almageste, malgré cela et malgré des faiblesses chez le théoricien, Tycho apparaît comme un observateur remarquable.

Au point de vue théorique, aucun progrès n'a encore été fait à l'aube du XVII^e siècle et si Copernic découvre que les planètes sont des terres analogues à la nôtre et gravitent, comme elle, autour du soleil, il ne dit rien des étoiles.

Galilée et ses successeurs. Naissance de l'astronomie stellaire.

Galilée. — En 1610, Galilée dirige la première lunette vers le ciel étoilé. Il voit alors des astres que nos yeux ne peuvent apercevoir ; dans l'épée et le baudrier d'Orion on comptait 7 étoiles visibles à l'œil nu, Galilée en dénombre 80, les Pléiades lui montrent 80 étoiles... La voie lactée, qui apparaissait jusque-là comme une traînée d'aspect continu, se résoud pour lui en un grand nombre de très petits astres, des amas qui avaient auparavant l'aspect de nébulosités, se résolvent également en étoiles.

L'étude du monde venait de faire un grand pas. L'astronomie stellaire allait enfin pouvoir se développer. Cependant ses progrès furent encore lents.

A la fin du XVII^e siècle, l'Anglais Hooke constate que le nombre des étoiles visibles dans un instrument augmente avec l'ouver-

ture de celui-ci. Cette remarque faisait prévoir le nombre immense des étoiles et l'étendue du monde stellaire.

Halley. — A la même époque, Halley constate les mouvements propres de trois étoiles : Aldébaran, Sirius et Arcturus. Ces astres perdaient dès lors le qualificatif de fixes qu'on leur accordait depuis l'antiquité. Halley considère que les diamètres des étoiles sont très faibles, inférieurs en tous cas à 1''.

Enfin, le premier, cet astronome émet l'idée que les étoiles sont des soleils analogues au nôtre, situés à des distances telles que leur diamètre et leur lumière sont très affaiblis et leurs parallaxes non mesurables. L'astronomie stellaire était née. Les étoiles n'étaient plus ces sortes de lanternes fixes que les anciens concevaient, elles apparaissaient désormais comme les centres probables d'autres systèmes planétaires, comme des foyers dispensant la vie autour d'eux dans d'autres régions de l'espace ; leur nombre, que l'on pouvait prévoir immense, élargissait les dimensions de l'univers.

Le progrès accompli pendant le xvii^e siècle est donc très grand. Dès ce moment l'astronomie stellaire a le champ libre et peut progresser.

Herschel.

Ses prédécesseurs. — Nous venons de voir que l'invention des lunettes avait permis à l'astronomie physique de faire ses premiers pas, et avait étendu d'une manière considérable le nombre des astres et les dimensions du monde. Les amas furent alors particulièrement étudiés. Déjà au xvii^e siècle, quelques nébuleuses et amas d'étoiles avaient été découverts ; en 1784, Messier publiait un catalogue contenant 103 de ces objets. On croyait alors que toutes les nébuleuses seraient résolubles en étoiles si on disposait d'un instrument suffisant.

Mais les lunettes eurent bien vite une application un peu différente. Elles permirent d'augmenter la précision des positions stellaires. Roemer, en effet, inventa la lunette méridienne en 1691, il lui adjoignit une horloge ; ces dernières venaient d'être perfectionnées par Huyghens et appliquées à la mesure des ascensions

droites par Picard. Dès le début du XVIII^e siècle, de nombreux catalogues furent entrepris, nous ne citerons que les principaux.

Hevelius, en 1690, donne les positions de 1.500 étoiles. Flamsteed, en 1725, publie un catalogue de 3.000 étoiles du ciel boréal, Bradley et Maskelyne perfectionnent la lunette méridienne, la précision de chaque position était de 10'', donc bien supérieure à ce que l'on avait obtenu jusqu'alors.

Rappelons que l'aberration de la lumière fut découverte par Bradley en 1728. La Lande publie un catalogue de 50.000 étoiles observées à Paris, Halley, puis Lacaille (1763) observent le ciel austral. Ce dernier a publié un catalogue de 10.000 étoiles.

Herschel. — L'illustre astronome anglais est considéré comme le fondateur de l'astronomie stellaire. Il a, en effet, ouvert magistralement la plupart des grands chapitres de cette science.

Les découvertes d'Herschel, comme du reste presque toutes les découvertes d'astronomie stellaire, ont leur point de départ dans un perfectionnement technique important des instruments : Herschel parvint à construire des télescopes dont l'ouverture atteignit un mètre. Il construisit, en particulier, un télescope de 610 centimètres de distance focale et 48 centimètres d'ouverture, et un autre de 1.220 centimètres de foyer et de 96 centimètres d'ouverture.

Le premier, dont le champ était de 15' lui permettait d'atteindre les étoiles de 15^e grandeur et le second celles de 16^e grandeur, astres plus de 100 fois plus faibles que ceux qu'on avait observés jusqu'alors.

En possession de tels instruments, animé d'une passion ardente pour l'astronomie et aidé par un sens génial des choses du ciel, Herschel marcha de découvertes en découvertes.

Photométrie. — Il imagina une méthode d'estimation des magnitudes, ou, comme on disait alors, des grandeurs stellaires, appelée méthode des séries, cette méthode fut perfectionnée par Argelander quelque 60 ans après et appelée méthode des degrés ; elle consistait à estimer à l'œil le rapport d'éclat de deux étoiles observées simultanément ; de ce rapport on déduisait la différence de grandeur des étoiles. Les erreurs d'observation pouvaient être considérables. L'estimation variait d'un observateur à l'autre et

pour un même observateur la différence minimum perceptible variait avec son état physique et avec les étoiles étudiées. C'est ainsi que Herschel attribuait la grandeur 20 aux plus petits astres visibles dans le télescope de 40 pieds, alors que nous estimerions aujourd'hui cette magnitude à 16.

Malgré ces défauts, la méthode d'Herschel, perfectionnée par Argelander, fut utilisée pendant un siècle, elle marque un réel progrès en photométrie stellaire.

Concentration galactique. — Herschel avait eu l'idée que la voie lactée représentait en quelque sorte l'ossature du monde stellaire. Le premier, il a constaté que cette traînée laiteuse occupe à peu près un grand cercle de la sphère céleste et il a déterminé son plan moyen, ou plan galactique.

En outre, il a remarqué le premier que les étoiles paraissent plus nombreuses dans le voisinage du plan galactique que vers le pôle de ce plan. Pour traduire en nombres cette concentration des astres vers la voie lactée il exécuta ses célèbres jauges :

Une jauge consistait à dénombrer les étoiles visibles dans un instrument donné (en fait le télescope de 20 pieds) et dans une région déterminée du ciel. De ces jauges, publiées depuis par Kapteyn, Herschel a déduit que les étoiles visibles dans le champ du télescope de 20 pieds (étoiles plus brillantes que la 15^e grandeur) sont 14 fois plus nombreuses près du plan de la voie lactée que vers son pôle. Il a estimé à 20 millions environ le nombre des étoiles plus brillantes que cette magnitude 15.

Dimensions de la voie lactée. — Herschel a tenté pour la première fois une évaluation hypothétique des distances stellaires, comme nous en faisons tant maintenant.

Il avait admis que toutes les étoiles sont intrinsèquement identiques au point de vue de leur éclat, c'est-à-dire que si elles étaient à la même distance de nous, elles auraient toutes les mêmes grandeurs ; nous dirions maintenant que tous les astres ont la même magnitude absolue. Comme l'éclat d'un astre est inversement proportionnel au carré de sa distance, on en conclut qu'une étoile dont l'éclat est n fois plus faible que celui d'une autre est \sqrt{n} fois plus éloignée que cette dernière.

Herschel estime ainsi que les étoiles de sixième grandeur, sont

12 fois plus éloignées que celles de première grandeur, que les étoiles visibles dans le télescope de 20 pieds sont 732 fois plus éloignées que celles de première grandeur et que les étoiles visibles dans le télescope de 40 pieds sont 2.300 fois plus éloignées que celles de première grandeur.

En adoptant 16 ans de lumière comme distance des étoiles de 1^{re} grandeur, on obtient 36.000 années de lumière comme distance des dernières étoiles visibles dans le télescope de 40 pieds. Herschel s'était donc fait du monde stellaire une idée assez exacte pour son époque.

La galaxie. — La voie lactée avait particulièrement attiré l'attention d'Herschel ; il avait eu l'idée que toutes les étoiles observables, ainsi que tous les amas et nébuleuses étaient plongés dans la voie lactée et que le système solaire était presque au centre de ce vaste ensemble. Pour lui, les étoiles n'étaient donc pas indépendantes les unes des autres, elles formaient un système étendu que nous appelons aujourd'hui la galaxie ¹⁾.

Ce groupement des étoiles en un vaste amas ne pouvait être dû qu'à l'attraction mutuelle des étoiles et Herschel avait prévu l'avènement prochain de la dynamique stellaire.

Mouvement du soleil. — Cette induction, jointe au fait que les étoiles se déplacent les unes par rapport aux autres, lui suggéra l'idée que le soleil se déplace aussi par rapport à l'ensemble des étoiles. Il imagina une méthode de détermination de la direction du mouvement solaire et la mit en application avec 46 mouvements propres du catalogue de Maskelyne ; il mit ainsi en évidence le mouvement du système solaire et détermina la première position de l'apex.

Etoiles doubles. — Herschel a fondé l'astronomie des étoiles doubles ; certaines étoiles apparaissent au télescope comme formées de deux astres, très rapprochés, on pouvait croire que ce

¹⁾ Fixons dès maintenant le langage :

La galaxie est le système stellaire constitué par l'ensemble de tous les astres observables, exception faite des nébuleuses spirales.

La voie lactée est uniquement la traînée laiteuse qui fait le tour du ciel les divers groupements d'étoiles qui la constituent, s'appellent nuages galactiques.

rapprochement n'était qu'une apparence due à la perspective ; l'astronome anglais, après avoir observé quelques-uns de ces couples pendant 25 ans, montra, en 1803, que pour cinq d'entre eux (Castor, ϵ Leonis, γ Bootis, δ Serpentis et γ Virginis), les deux étoiles décrivaient des ellipses autour de leur centre de gravité commun comme foyer. Par la suite, Herschel découvrit de nombreuses autres étoiles doubles. Ainsi se trouvait établie l'universalité des lois constatées dans le système solaire, cette découverte de la validité des lois de Képler aux confins du monde visible a, si l'on y réfléchit, une grande portée philosophique.

Nébuleuses. — Herschel enfin a catalogué 2.500 nébuleuses ; il a distingué entre les nébuleuses proprement dites et les amas d'étoiles. Les premières sont, selon lui, de vastes masses gazeuses, tantôt régulières comme la nébuleuse annulaire de la Lyre, tantôt irrégulières comme celle d'Orion ; les recherches modernes ont confirmé ces vues, sauf en ce qui concerne les nébuleuses spirales qu'Herschel considérait comme des nébuleuses gazeuses, et qui sont, en réalité, d'autres galaxies. Quant aux amas d'étoiles, Herschel les considéra comme de petites condensations stellaires comprises dans cette grande agglomération qu'est la galaxie. Il eut le premier l'idée que les étoiles, qui constituent ces amas, sont liées par l'attraction et se déplacent les unes par rapport aux autres de façon à réaliser un état d'équilibre stationnaire.

Ainsi Herschel est vraiment un des grands fondateurs de l'astronomie stellaire. La découverte de la spectroscopie a depuis ouvert un champ nouveau d'investigations, mais Herschel a posé des questions qui ne sont pas encore résolues et son influence se fait sentir encore maintenant. Ce sera pour une génération d'astronomes une œuvre importante que de mettre le point final aux chapitres ouverts par l'illustre chercheur anglais.

Première moitié du XIX^e siècle.

Pendant cette période peu de découvertes importantes ont été faites en astronomie stellaire. Le génie d'Herschel dépassait tellement son époque qu'il faudra attendre un demi-siècle pour que les astronomes parviennent au niveau de l'astronome anglais.

John Herschel, fils de William, continua l'œuvre de son père. Comme ce dernier n'avait pas étudié le ciel austral, son fils se rendit au Cap de Bonne Espérance, où il fit de nombreuses observations.

Bessel est un des astronomes les plus illustres de cette époque. Il perfectionna les instruments méridiens et publia un catalogue de 63.340 positions d'étoiles. L'irrégularité du mouvement de Sirius lui suggéra l'idée que cet astre avait un compagnon obscur dont il calcula la position : cette découverte, analogue à celle de Neptune par Le Verrier reçut une confirmation éclatante en 1862 : L'astronome américain Clarke, vit effectivement le compagnon de Sirius à l'emplacement indiqué par Bessel qui découvrit, de la même façon, le compagnon de Procyon.

Mais la contribution la plus importante de Bessel à l'astronomie stellaire est la première détermination de la distance d'une étoile. En utilisant un héliomètre, Bessel trouva 0'',35 pour parallaxe de l'étoile 61 de la constellation du Cygne. Pour la première fois l'homme mesurait une distance stellaire.

Enfin c'est au début du XIX^e siècle que Fraunhofer fonde la spectroscopie, science qui devait avoir, par la suite, de nombreuses applications en astronomie et être la cause de progrès considérables.

LA FIN DU XIX^e SIÈCLE ET LE DÉBUT DE LA PÉRIODE CONTEMPORAINE

La période actuelle est caractérisée par de nombreuses nouveautés en astronomie stellaire statistique, nous les exposerons dans l'ordre suivant :

Les grands instruments modernes.

La photographie du ciel.

La spectroscopie.

Le développement des recherches sur les étoiles doubles et sur les étoiles variables.

Les associations internationales.

La statistique stellaire.

Les grands instruments modernes.

Les télescopes de Foucault. — Herschel avait réalisé en 1785 un grand progrès en construisant un télescope de 1 mètre d'ouverture. On ne parvint à faire mieux qu'à la fin du XIX^e siècle.



Fig. 3. — Observatoires Européens.

Les miroirs d'Herschel étaient en métal, comme celui de Lord Rosse qui fut construit par la suite ; le travail de leurs surfaces était difficile, aussi, une fois un miroir poli, n'y faisait-on aucune retouche, et si le miroir n'était pas réussi il fallait en refaire un autre.

Foucault, vers 1859, tenta la construction de miroirs paraboliques. On sait, en effet, que les surfaces sphériques ne sont pas stigmatiques, même pour un point à l'infini. Cette qualité n'ap-

partient qu'aux miroirs paraboliques. Foucault taillait ses miroirs non plus dans un métal, mais dans une masse de verre qu'il argentait une fois le travail achevé et il construisit des miroirs paraboliques en retouchant des surfaces sphériques par des procédés mécaniques nouveaux. Le principal perfectionnement introduit par Foucault réside dans l'établissement de méthodes optiques pour suivre et diriger pas à pas le travail du miroir et

Légende de la figure 3.

On a indiqué les observatoires par des points différents suivant l'ouverture du plus grand instrument de l'établissement :

Les observatoires ayant un instrument de moins de 200 millimètres d'ouverture n'ont pas été reportés sur la carte.

■ observatoires possédant un instrument de 200 mm. à 600 mm.



600 mm. à 1.000 mm.



1.000 mm. à 1.500 mm.



de plus de 1.500 mm.

1. Greenwich.	28. Paris.	55. Catane.	82. Bucarest.
2. East House.	29. Meudon.	56. Rome.	83. Athènes.
3. Cambridge.	30. Strasbourg.	57. Trieste.	84. Czenstochowa.
4. Oxford.	31. Besançon.	58. Genève.	85. Cracovie.
5. Mill Hill.	32. Lyon.	59. Neufchâtel.	86. Varsovie.
6. Rugby.	33. Marseille.	60. Heidelberg.	88. Kiew.
7. Frome.	34. Floirac.	61. Munich.	89. Kharkow.
8. Sidmouth.	35. Toulouse.	62. Zurich.	90. Simeis.
9. New Quay.	36. Pic du Midi.	63. Oberesslingen.	91. Moscou.
10. Romford.	37. Forcalquier.	64. Bamberg.	92. Poulkovo.
11. Manchester.	38. Nice.	65. Würtzberg.	93. Leningrad.
12. Blackburn.	39. Juvisy.	66. Francfort.	94. Dorpat.
13. Tow Law.	40. Cambrai.	67. Wiesbaden.	95. Königsberg.
14. Leeds.	41. Mulhouse.	68. Bonn.	96. Bergedorf.
15. Durham.	42. Saragosse.	69. Göttingen.	97. Kiel.
16. Glasgow.	43. Madrid.	70. Potsdam.	98. Copenhague.
17. Edimbourg.	44. Coimbre.	71. Hanovre.	99. Fredericksberg.
18. Armagh.	45. Lisbonne.	72. Iéna.	100. Lund.
19. Dunsink.	46. San Fernando.	73. Berlin Babelsberg	102. Stockholm.
20. Leiden.	47. Barcelone.	74. Leipzig.	103. Upsal.
21. Groningue.	48. Alger.	75. Riesenbourg.	104. Abo.
22. Liège.	49. Turin.	76. Breslau.	105. Helsingfors.
23. Gand.	50. Merate.	77. Prague.	106. Aarhus.
24. Anvers.	51. Faenza.	78. Vienne.	107. Beyrouth.
25. Valkenburg.	52. Arcetri.	79. Stara Dala.	108. Ksara.
26. Uccle.	53. Terano.	80. Budapest.	109. Helwan.
27. Utrecht.	54. Palerme.	81. Belgrade.	

pour vérifier la qualité de sa surface. Il construisit pour l'Observatoire de Paris un télescope de 60 centimètres d'ouverture et de 7 mètres de foyer. La technique de Foucault est encore utilisée aujourd'hui.

Malgré le progrès technique considérable réalisé par Foucault dans la construction des miroirs, ces derniers ne rendirent pas tout de suite de grands services.

L'Observatoire de Paris possède deux miroirs construits depuis une quarantaine d'années : l'un a 120 centimètres d'ouverture et

7 mètres de foyer, mais sa monture est défectueuse. L'autre a 100 centimètres d'ouverture et 3 mètres de foyer, il est installé à Meudon.

Ces instruments ont été très peu utilisés parce que leur monture était insuffisante. La perfection de la monture d'un miroir est aussi importante que celle de son optique, car un miroir mal monté se déforme suivant la position qu'il occupe et donne de mauvaises images. De plus, un télescope est d'un usage beaucoup plus difficile qu'une lunette et exige des soins et des réglages constants.

Grandes lunettes. — C'est pourquoi les lunettes furent encore préférées aux télescopes jusqu'au début du ^{xx}e siècle ; malheureusement on ne peut guère construire d'objectifs de plus d'un mètre de diamètre ; pour des ouvertures plus grandes, la masse de verre devient trop épaisse.

La plus grande lunette actuellement en usage est celle de Yerkes qui a 102 centimètres d'ouverture, après celle-ci viennent les lunettes de Lick (83 centimètres), de Meudon (83 centimètres) et de Potsdam (80 centimètres) ; il y a au total, dans le monde entier, 25 lunettes de 60 centimètres à 76 centimètres d'ouverture.

Signalons l'établissement à partir de 1890, d'équatoriaux coulés, dont l'oculaire est fixe, ce qui présente de grands avantages pour les études de spectroscopie.

La plupart de ces lunettes ont été établies au moment où la photographie stellaire n'avait pas donné tout ce qu'on en attendait et les objectifs précédents sont visuels pour la plupart ; ils sont impropres à la photographie des étoiles faibles.

Les grands télescopes américains. — En 1908 se produisit un événement qui devait être gros de conséquences : Ritchey construit et installe au Mont Wilson un télescope de 152 centimètres dont la monture était conçue de manière à annuler les flexions du miroir. Ritchey apportait à la technique optique de Foucault le complément mécanique qui était nécessaire pour tirer d'un miroir tout le parti possible. En même temps, l'organisation administrative de l'Observatoire du Mont Wilson, en ne laissant jamais inoccupé le télescope de 152 centimètres, permit aux astronomes de tirer de cet instrument le rendement maximum.

Les résultats de ces petits perfectionnements ne se firent pas

attendre, les clichés pris avec le télescope du Mont Wilson dépassaient tout ce qu'on avait obtenu jusqu'alors et permirent des découvertes inespérées. Par exemple, c'est avec cet instrument que des nébuleuses spirales furent résolues en étoiles et que des novæ y furent découvertes, ce qui permettait l'évaluation de la distance de ces nébuleuses. La détermination des magnitudes de la séquence polaire nord, l'établissement d'un catalogue des étoiles faibles des aires de Kapteyn, des déterminations de magnitudes absolues et de vitesses radiales, pour ne citer que les principales recherches intéressant l'astronomie statistique, ont été grandement facilitées par ce puissant télescope.

En présence d'un tel succès, de nombreux observatoires décidèrent la construction de télescopes de grande ouverture, conçus sur le même modèle que le précédent.

Neuf d'entre eux, dont cinq sont en usage depuis une dizaine d'années, ont une ouverture supérieure à 150 centimètres au Mont Wilson (252 cm), à Victoria (183 cm), à Perkins (175 cm), au Mont Wilson et à Cordoba (163 cm et 150 cm). Quatre autres télescopes sont en projet : à Mc Donald Texas (203 cm), à David Dunlap (191 cm), à Harvard et à Bloemfontein (155 cm).

Il serait trop long d'énumérer les recherches que ces instruments rendent désormais possibles, leur grande ouverture leur confère un pouvoir séparateur élevé, mais permet surtout l'étude d'étoiles très faibles, et c'est là ce qui est le plus important en astronomie stellaire statistique.

En dehors des précédents il y a dans le monde 22 télescopes de 80 à 150 centimètres ; la France en possède 4, dont 2 de 120 centimètres et de 100 centimètres, mais dont la monture est défectueuse. Nous avons fort heureusement l'espoir de suivre prochainement les observatoires étrangers dans la construction des grands télescopes ; il existe en effet à l'Observatoire de Paris un laboratoire d'optique capable de construire un miroir de 200 centimètres ; son jeune directeur, André Couder, est un opticien remarquable qui a déjà fait ses preuves en établissant l'an dernier, à Forcalquier, un télescope de 80 centimètres avec lequel d'excellents résultats ont été obtenus ; si des moyens matériels suffisants étaient accordés à ce laboratoire on pourrait lui faire confiance pour égaler, sinon dépasser, ce qui a été fait jusqu'à présent en matière de construction de grands télescopes.

Instruments à grand rapport d'ouverture. — La plupart des grands télescopes dont nous venons de parler sont ouverts de F/8 à F/12.

Depuis une trentaine d'années divers observatoires américains ont établi des instruments pour lesquels le rapport de l'ouverture à la distance focale est plus élevé et atteint 1/3 ou 1/4. Ces instruments ont sur les précédents divers avantages : à égalité d'ouverture ils permettent l'étude d'étoiles plus faibles et ont toujours un champ très étendu ; ils sont particulièrement adaptés à l'étude des étoiles variables, aux recherches statistiques sur les étoiles et les nébuleuses et à l'étude des astres faibles de dimensions finies.

Ces instruments ont généralement de 40 à 60 centimètres d'ouverture, mais avec des instruments de petite ouverture (quelques centimètres) et de très court foyer, analogues aux appareils photographiques ordinaires, on peut faire des études macroscopiques intéressantes de la voie lactée par exemple.

Ces instruments à grand rapport d'ouverture sont destinés à rendre de grands services dans l'avenir et on devrait en installer davantage.

La photographie du ciel.

La photographie a été pour l'astronomie moderne l'un des principaux facteurs de progrès, comme, du reste, pour beaucoup d'autres sciences.

Elle a été appliquée à l'étude des étoiles pour la première fois, et d'une façon systématique, vers 1880, par Paul et Prosper Henry, à l'Observatoire de Paris. Les deux avantages de son emploi sont les suivants :

Une pose de quelques minutes ou de quelques heures permet d'obtenir sur une plaque photographique des milliers et souvent des dizaines de milliers d'étoiles. L'étude du cliché peut être faite ensuite à loisir, les positions et les magnitudes des étoiles sont mesurées dans des conditions plus favorables que pendant la nuit par l'observation directe. On recueille ainsi en quelques minutes de pose plus de documents que pendant plusieurs années d'observation visuelle.

Un autre avantage réside dans ce fait que la plaque photogra-

phique accumule l'énergie envoyée par les étoiles, alors que l'œil ne l'accumule pas. C'est ainsi que des poses photographiques de plus en plus longues, faites avec un même instrument donnent des étoiles de plus en plus faibles.

Par exemple un objectif de 36 centimètres d'ouverture (instrument de la carte du ciel), ne permet de voir à l'œil que les étoiles jusqu'à la 11^e ou la 12^e grandeur, alors qu'une pose photographique de 10 minutes faite avec le même instrument montre des étoiles de grandeur 14,5 sous le ciel de Paris, par une nuit ordinaire, et qu'une pose de deux heures donne des étoiles de grandeur 17,5, 100 fois plus faibles que celles que l'on observe à l'œil dans le même instrument.

Ces deux avantages de la photographie font qu'elle a peu à peu supplanté presque complètement l'observation directe à l'œil qui n'est guère employée maintenant que pour l'étude des étoiles doubles.

Appliquée aux grands instruments dont nous venons de parler, la photographie a permis de déceler des étoiles de 21^e grandeur, qui n'éclairent pas plus qu'une bougie placée à 10.000 kilomètres. Elle a permis d'étudier de lointains univers : les amas globulaires et les nébuleuses spirales : elle a permis de résoudre ces dernières en étoiles et de déterminer leurs distances.

Enfin la photographie a imprimé un essor nouveau à la photométrie stellaire et provoqué l'éclosion de la statistique stellaire.

Les mesures photométriques. — On parle depuis 20 siècles des grandeurs ou magnitudes des étoiles, mais on ne les mesure que depuis une trentaine d'années. Jusque-là en effet on se contentait d'estimer les éclats des étoiles ; la méthode d'Argelander, succédané de la méthode de Herschel, consiste à classer les étoiles par éclats décroissants, en attribuant des nombres à chaque classe comme si le rapport des éclats de deux classes consécutives était constant. Les magnitudes de la Bonner Durchmusterung par exemple sont estimées. Une contribution importante de l'astronomie contemporaine est d'avoir remplacé ces méthodes d'estimation des éclats stellaires par des méthodes de mesure.

Pickering installa à la fin du xix^e siècle un photomètre méridien à l'observatoire d'Harvard ; avec cet instrument de nombreuses mesures visuelles ont été faites ; depuis lors des méthodes de

mesures des magnitudes visuelles ont été imaginées, particulièrement en France par Danjon et par Dufay.



Fig. 4. — Observatoires africains.

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 48. Alger. | 111. Bloemfonteyn. |
| 107. Beyrouth. | 112. Durban. |
| 108. Ksara. | 113. Le Cap. |
| 109. Helwan. | 114. Tananarive. |
| 110. Johannesburg. | |

Ces méthodes intéressent surtout l'étude individuelle des étoiles variables, car elles sont visuelles et applicables seulement à un

petit nombre d'astres assez brillants. L'astronomie stellaire statistique a des exigences d'une nature différente :

Il importe de mesurer rapidement les magnitudes d'un grand nombre d'étoiles, et de mesurer les magnitudes d'étoiles aussi faibles que possible, or seules les méthodes photographiques permettent d'atteindre ce but, quelques clichés pris en deux ou trois nuits donnent facilement les magnitudes de plusieurs dizaines de milliers d'étoiles, de 16^e grandeur par exemple.

Il importe surtout, non pas d'obtenir de faibles erreurs individuelles dans les mesures, mais d'établir avec le plus de certitude possible le rapport d'éclat moyen des étoiles les plus brillantes et des étoiles les plus faibles ; c'est sur la mesure de ce rapport qu'est basée en définitive notre connaissance des dimensions de l'univers stellaire.

Or le problème est rendu singulièrement difficile par ce fait que les étoiles de 20^e grandeur sont 100 millions de fois plus faibles que les étoiles de magnitude 0. Les observatoires d'Harvard et du Mont Wilson se sont attachés depuis une trentaine d'années à résoudre ce problème et ont établi une série d'étoiles de 2^e à 20^e grandeur, appelée séquence polaire nord, dont les rapports d'éclats sont connus avec une erreur relative inférieure à 10 %. C'est là une des conquêtes importantes de l'astronomie stellaire contemporaine.

La spectroscopie.

Les débuts. — Dès 1817, Fraunhofer avait adapté un spectroscope à une lunette astronomique et avait dirigé celle-ci vers les étoiles. Les spectres stellaires lui étaient apparus comme des spectres continus, coupés de raies noires, quelques-unes différentes de celles qu'il avait observées dans le spectre du soleil.

C'est seulement en 1860 que Huggins reprend l'étude des spectres stellaires. Il établit l'identité de la plupart des raies stellaires et des raies d'absorption des corps simples connus à la surface de la terre, découverte d'une grande portée.

Halley, dans une induction hardie, avait deviné la grande uniformité du monde et avait pensé que les étoiles étaient d'autres soleils. Herschel avait montré que les lois de la mécanique sont les mêmes dans les mondes lointains et dans notre système solaire.

Huggins venait de montrer que les étoiles sont chimiquement composées des mêmes corps que ceux au milieu desquels nous vivons journellement. Espérons que l'avenir complètera cette vaste vue d'ensemble, un jour nous saurons peut être que la vie et la pensée baignent les mondes planétaires comme elles recouvrent notre globe.

Secchi, à la même époque (1862-1868) entreprend la première étude systématique de 4.000 spectres stellaires, et les classe en quatre types, qui correspondent aux couleurs des étoiles. Nous ne citerons que pour mémoire la classification des spectres stellaires proposée dix ans après par Vogel, et la découverte d'étoiles présentant des lignes brillantes d'émission, faite par Wolf et Rayet.

Jusque-là on n'a pu observer que les étoiles brillantes, mais dès la fin du ^{xix}^e siècle les instruments américains à grande ouverture, et l'application de la photographie à ces recherches, permettent l'obtention de spectres d'étoiles de plus en plus faibles et éloignées.

Le Henry Draper Catalogue. — A la fin du siècle, Pickering, proposa une classification des spectres en six types spectraux, classification qui est encore adoptée actuellement. On avait l'habitude jusqu'alors, de placer le spectroscopie derrière le foyer de la lunette, Pickering au contraire plaça le prisme devant l'objectif et créa ainsi le « prisme objectif ». Cet instrument, s'il donne une dispersion plus faible que le spectroscopie à fente placé au foyer, présente sur ce dernier l'avantage de donner simultanément les spectres de toutes les étoiles situées dans le champ de l'instrument. Allié à la photographie, le prisme objectif a permis à l'observatoire d'Harvard, de dresser un catalogue appelé Henry Draper Catalogue, qui contient les types spectraux de 250.000 étoiles jusqu'à la 10^e grandeur. Le travail a été commencé au début du ^{xix}^e siècle et la publication en a été terminée il y a quelques années, il constitue la première œuvre de spectroscopie stellaire statistique.

Le prisme objectif, par sa grande luminosité et la rapidité avec laquelle il permet d'obtenir les spectres d'un grand nombre d'étoiles, est un instrument de première utilité en astronomie stellaire statistique.

Grâce à la spectroscopie, les étoiles ont cessé pour les observa-

teurs d'être des points lumineux, que seuls caractérisaient leur position et leur éclat. Nous pouvons maintenant étudier la température des étoiles, leur composition chimique, l'état de la matière dans leurs atmosphères. Mais en ce qui concerne l'astronomie stellaire statistique, les deux applications les plus importantes de la spectroscopie sont : La détermination de la distance des étoiles par le moyen des parallaxes spectroscopiques et la détermination des vitesses radiales stellaires.

Parallaxes spectroscopiques. — Une découverte pleine de promesses a été faite en 1914 par Adams grâce au spectroscopie : Cet astronome a montré que l'étude photométrique du spectre d'une étoile permet d'estimer sa magnitude absolue, c'est-à-dire la magnitude que lui attribuerait un observateur qui se trouverait à une distance unité de cette étoile ; la connaissance de cette magnitude absolue, jointe à celle de sa magnitude apparente, permet d'évaluer la distance de l'astre. Cette méthode d'Adams, qui a été particulièrement développée depuis 1922 par Lindblad, permet d'évaluer des distances stellaires qui échapperont longtemps à la méthode trigonométrique de détermination des parallaxes.

Désormais, pour avoir la distance d'un astre il suffit d'en obtenir un bon spectre.

Vitesses radiales. — L'étude des mouvements stellaires et, d'une façon indirecte, le problème de la structure de la galaxie, ont fait de grands pas grâce à la spectroscopie. Döppler et Fizeau ont montré, au milieu du siècle dernier, que les raies spectrales d'un corps se déplacent par rapport à leur position normale d'une quantité proportionnelle à la vitesse radiale de ce corps. La comparaison des positions des raies des spectres stellaires à celles des mêmes raies d'un spectre terrestre, a permis de déterminer en 1890 les premières vitesses radiales des étoiles. Depuis, le nombre des vitesses radiales connues a été en croissance rapide. Toutes les vitesses radiales déterminées jusqu'à présent, ou à peu près toutes, sont dues aux observatoires américains. L'observatoire Lick, en particulier, a publié en 1928, sous la direction de Campbell, un catalogue de 2.400 vitesses radiales d'étoiles visibles à l'œil nu. Ce catalogue est le résultat des observations entreprises

depuis 1900 dans cet établissement et dans sa succursale d'Aréquipa, au Pérou.

La vitesse radiale est un moyen d'étude des déplacements stellaires plus précis et plus précieux que le mouvement propre. Grâce aux vitesses radiales obtenues directement en km/sec. on a pu évaluer hypothétiquement les parallaxes d'étoiles qui échappaient aux procédés classiques. Grâce à elles, Campbell a pu, en 1913, vérifier le principe d'équipartition de l'énergie dans la galaxie. Grâce à elles, Oort, en 1928, a découvert la rotation de la galaxie, et ce sont elles encore qui ont permis de mettre en évidence l'existence du courant asymétrique de Strömberg. Enfin c'est grâce aux vitesses radiales des nébuleuses spirales les plus éloignées que Hubble, en 1929, a découvert une fort curieuse propriété de l'univers : ces astres s'éloignent du soleil proportionnellement à leur distance.

Evolution stellaire. — Enfin, avec l'aide de la spectroscopie, on a pu entrevoir l'évolution des étoiles. On a admis très longtemps à la suite de Secchi (1862), que les étoiles se refroidissaient en vieillissant, les étoiles les plus jeunes étaient donc celles du type B d'Harvard, étoiles à hélium, les plus chaudes, puis en vieillissant l'étoile se refroidissait, passait par les types B, A, F, G, K, M, devenant de plus en plus rouge et finissant par ne plus émettre de lumière visible.

Mais en 1890, Lockyer, proposa un ordre d'évolution tout à fait nouveau et qui ne fut admis que longtemps après : L'étude des raies des atomes ionisés avait conduit cet astronome à classer les étoiles rouges en deux catégories : les géantes et les naines. Selon Lockyer l'évolution stellaire se fait en deux fois :

Une étoile est d'abord froide et géante, puis elle se condense, s'échauffe et passe par la série des types spectraux M, K, G, F, A, B, de rouge elle devient jaune puis bleue. Lorsqu'elle est parvenue vers le type B, elle continue de se condenser, mais à partir de ce moment elle se refroidit et parcourt en sens inverse la série spectrale B, A, F, G, K, M, pour devenir enfin un astre condensé et obscur.

Telle était l'hypothèse hardie proposée il y a 40 ans par Lockyer. Elle ne fut pas admise d'emblée, Il fallut les recherches théoriques de Russell en 1913 et celles d'Hertzsprung et d'Adams sur les magnitudes absolues en 1914, pour établir la véracité de l'hypo-

thèse de Lockyer. La classification en naines et géantes est un fait expérimental depuis 1914. Cependant la théorie de Russell est assez discutée, elle ne paraît être qu'un schéma préliminaire de l'évolution stellaire.



Fig. 5. — Observatoires de l'Asie.

87. Tachkent.	122. Shanghai.
115. Kodaikanal.	124. Kurasiki.
116. Madras.	125. Kioto.
117. Haiderabad.	126. Tokio.
118. Calcutta.	128. Melbourne.
119. Lembang.	129. Adelaide.
120. Manille.	130. Kasan.
121. Canton.	

Ces recherches semblent appartenir plus au domaine de la physique stellaire qu'à celui de l'astronomie stellaire statistique à laquelle nous bornons notre historique. Mais la distinction des naines et des géantes est de première importance pour étudier la distribution des étoiles dans l'espace et pour étudier l'évolution dynamique de la galaxie.

Signalons enfin une application toute récente de la spectroscopie : Récemment, Trumpler a mis en évidence l'existence d'un milieu absorbant interstellaire, limité au voisinage du plan galactique, en étudiant l'intensité du spectre des étoiles lointaines. Ce résultat est de première importance pour l'évaluation des distances stellaires.

Développement des recherches sur les étoiles doubles et les étoiles variables.

Nous ne citerons pas les recherches théoriques sur l'état intérieur des étoiles qui relèvent de la physique stellaire ; nous dirons un mot des recherches sur les étoiles doubles et les étoiles variables qui prennent actuellement une place de plus en plus importante en astronomie stellaire statistique.

Etoiles doubles visuelles. — Les étoiles doubles ont été de plus en plus observées au cours du XIX^e siècle. W. Struve, en 1836, publia un catalogue de 3.134 couples mesurés par lui-même. Il imagina de nouvelles méthodes d'observation et de calcul des orbites. Burnham, en 1906, a publié un catalogue de 13.665 étoiles doubles. Le catalogue de Jonckheere contient des binaires plus faibles et plus serrées que celles de Burnham.

Enfin tout récemment Aitken a publié un catalogue résumant toutes les observations d'étoiles doubles faites jusqu'à présent.

On découvre du reste journellement de nouveaux couples et la recherche systématique des étoiles doubles est faite sur les clichés de la Carte du Ciel.

L'observation des étoiles binaires serrées est encore réservée aux équatoriaux visuels, même de faible ouverture, c'est du reste souvent la seule utilisation actuelle de ces instruments et c'est pourquoi un si grand nombre d'observations d'étoiles doubles sont faites un peu partout.

On connaît aujourd'hui 20.000 étoiles doubles environ, et pour 100 couples on dispose d'observations suffisantes pour déterminer l'orbite.

Etoiles doubles spectroscopiques. — Pickering, en 1890, observa le dédoublement périodique de la raie K des spectres de φ Ursae Majoris et de β Aurigae. Il en conclut que ces étoiles étaient doubles, mais que leurs composantes étaient trop serrées pour être séparées visuellement dans un instrument. Le spectroscopie avait mis en évidence les vitesses radiales différentes et variables des deux composantes.

L'extension des recherches spectroscopiques a amené la décou-

verte de nombreux couples analogues appelés étoiles doubles spectroscopiques. Vogel, en 1891, découvre que α Virginis est une double spectroscopique. Deslandres, en 1895, fait des constatations analogues sur α Aquilae et β Ursae Minoris ; Bailey à Aréquipa, Campbell à Lick, ont découvert de nombreux couples.

L'observatoire Lick a publié en 1924 un catalogue de 1.054 binaires spectroscopiques de courte période (quelques jours), pour la plupart. Diverses méthodes ont été imaginées par Rimbaut, par Wilsing, par Lehmann Filhes, pour déterminer les orbites des doubles spectroscopiques.

Nous connaissons actuellement les éléments de 250 de ces orbites.

Etoiles doubles photométriques. — En même temps se développait la théorie des étoiles doubles photométriques. Le plus remarquable de ces astres est Algol ; la variabilité de son éclat avait été observée dès le xvii^e siècle, et Goodricke en 1782 avait proposé de l'expliquer par la présence d'un compagnon obscur tournant autour d'une étoile principale brillante, dans un plan qui passe par le rayon visuel ; de cette façon les diminutions brusques et périodiques de l'éclat d'Algol se trouvaient expliquées qualitativement.

En 1880, Pickering détermina les dimensions relatives des deux étoiles et de leurs orbites en utilisant la courbe de lumière observée. Il ne manquait, pour connaître tous les éléments de ce système, que l'une de ses dimensions exprimée en Km.

En 1889, Vogel découvrit que la vitesse d'Algol était variable, c'était une confirmation de l'hypothèse de Goodricke, de plus la grandeur de la variation de cette vitesse permit de calculer la donnée qui manquait : L'échelle du système d'Algol en kilomètres.

Pour ce système on connaissait alors : les dimensions de l'orbite, les rayons des étoiles, leurs masses et leurs densités.

Algol est la première étoile dont on ait déterminé indirectement le diamètre et la densité. C'est seulement en 1922 que Michelson, par une méthode interférométrique, parvint à mesurer directement le diamètre de Bételgeuse et de quelques autres étoiles.

Masses des étoiles. — Au point de vue qui nous intéresse, les étoiles doubles nous renseignent sur les masses de ces astres

et nous permettent ainsi d'étudier d'une manière plus profonde la dynamique stellaire.

Statistiques d'étoiles doubles. — Les étoiles doubles ont donné naissance à une méthode nouvelle d'évaluation des distances stellaires appelée méthode des parallaxes dynamiques.

Enfin, la propriété des deux composantes d'un système binaire de se trouver à la même distance de nous, permet de déterminer un certain nombre d'éléments statistiques comme les magnitudes absolues en fonction du type spectral, grâce à une méthode imaginée par Lundmark et Luyten.

L'étude statistique des éléments des étoiles doubles est commencée depuis peu, et les résultats relatifs à l'orientation des plans des orbites sont encore incertains.

Etoiles variables. Relation de Miss Leavitt. — C'est surtout à partir de 1890 que se développe l'étude des étoiles variables. Signalons les noms de Chandler, qui leur consacra de nombreuses observations, et de Pickering. Ce dernier orienta l'observatoire d'Harvard vers l'étude de ces astres à partir de la fin du siècle dernier.

Dans cette branche de l'astronomie, comme dans tant d'autres, il a fallu faire appel à une collaboration de tous les observateurs ; cette organisation internationale pour l'étude des étoiles variables commence seulement à s'organiser.

L'étude des étoiles variables est déjà fort intéressante en elle-même, mais ces astres ont joué un rôle essentiel dans l'évaluation des distances stellaires et dans l'étude des mouvements dans notre voie lactée.

En 1913, Miss Leavitt trouva une relation simple entre la magnitude et la période des cépheides des nuages de Magellan. Cette relation étendue aux magnitudes absolues permet d'évaluer la distance d'une cépheide dès qu'on connaît sa période et sa magnitude apparente.

On disposait dès lors d'un procédé simple pour évaluer les distances de ces amas ainsi que celle des nébuleuses spirales qui contiennent également des cépheides. Le grand avantage de ce procédé est d'être applicable sans peine à de très grandes distances, bien supérieures aux dimensions de la galaxie, alors que

les autres méthodes de détermination des distances stellaires ne sont applicables qu'aux astres proches.

Shapley appliqua cette méthode en 1917 à l'évaluation de la distance des amas globulaires.

Dans une induction hardie, qui devait être confirmée par la suite, il admit que les amas globulaires appartiennent à la galaxie dont ils dessinent les grandes lignes, et obtint ainsi pour la première fois, la forme, la position et les dimensions de celle-ci.

Les entreprises internationales.

Catalogues fondamentaux d'étoiles. — La détermination des positions stellaires a fait des progrès techniques depuis le milieu du siècle dernier.

On construit des instruments plus puissants et plus rigides, mais surtout on perfectionne les accessoires de l'instrument ; détermination du nadir au moyen du bain de mercure, application du chronographe imprimant automatiquement l'heure des passages, introduction du micromètre impersonnel à fil entraîné.

Bessel, vers 1850, a codifié la méthode de détermination des constantes de l'instrument, grâce auxquelles on corrige les observations de toutes les petites imperfections instrumentales. Encore maintenant, si on veut augmenter la précision des observations méridiennes c'est une connaissance plus exacte des constantes instrumentales qu'il faut chercher.

Les catalogues de positions stellaires publiés à partir du ^{xix}e siècle se divisent en deux catégories bien distinctes : Les catalogues fondamentaux, et les catalogues comprenant un grand nombre d'étoiles.

Les catalogues fondamentaux contiennent peu d'étoiles, mais chaque position résulte de la moyenne d'un très grand nombre d'observations et partant est très précise. De plus une série d'observations concomittantes du soleil permet de ramener directement les étoiles à l'équinoxe de l'époque des observations.

Lacaille, en 1757, avait déjà publié une liste de 397 étoiles dont les positions étaient fixées avec un soin tout particulier.

Mais les principaux catalogues fondamentaux sont :



Fig. 6. — Observatoires de l'Amérique du Nord.

Le catalogue de 2.874 étoiles de Bessel.

Le catalogue de 365 étoiles dressé par les soins de Le Verrier

et dont les étoiles servent pour l'établissement de la connaissance des temps.

Le catalogue de Poulkovo de 336 étoiles dressé par Otto Struve et qui servit de base à l'un des plus importants ouvrages du XIX^e siècle : le *fundamental catalog d'Auwers*, publié en 1879, et qui contient 539 étoiles. Excellent pour l'époque, ce catalogue n'a plus grande valeur actuellement, car si ses positions sont précises, ses mouvements propres présentent de graves erreurs.

Christie, en 1893, établit un catalogue de 253 étoiles fondamentales pour les besoins du *Nautical Almanach*.

Actuellement le nombre des catalogues fondamentaux aug-

Légende de la figure 6.

1. Orono.	20. Columbia.	39. Beloit.
2. Albany.	21. Providence.	40. Madison.
3. Jonquière.	22. Alleghany.	41. Appleton.
4. Harvard.	23. Cleveland.	42. Minneapolis.
5. Torrington.	24. Delaware.	43. Yerkes.
6. Amherst.	25. Columbus.	44. Northfield.
7. Middletown.	26. Springfield.	45. Ottawa.
9. Princeton.	27. Urbana.	46. Victoria.
9. New Haven.	28. Ann Arbor.	47. Denver.
10. South Hadley.	29. Ypsilanti.	48. Oakland.
11. Syracuse.	30. Cincinnati.	49. Santa Clara.
12. Rochester.	31. Bloomington.	50. Mont Hamilton(Lick).
13. Ithaca.	32. Green Castle.	51. Mont Wilson.
14. Poughkeepsie.	33. Oxford.	52. Flagstaff.
15. Sproul.	34. Parkville	53. Tucson.
16. Washington.	35. Barnard.	54. Tacubaya.
17. Lewisburg.	36. Lawrence.	55. Mandeville.
18. Charlottesville.	37. Des Moines.	
19. Hanover.	38. Evanston.	

mente rapidement, chaque observatoire en établit un. C'est ainsi qu'à l'Observatoire de Paris, pour citer celui qui nous est le plus proche, A. Lambert a publié, en 1926, un catalogue de 1.844 étoiles observées par Lambert, Fayet et René Baillaud.

Le Preliminary general catalogue de Boss. — En présence d'un si grand nombre de catalogues fondamentaux, établis sur des bases parfois assez différentes, les astronomes éprouvèrent le besoin d'adopter universellement un catalogue fondamental standard, et il était tout naturel de fixer les coordonnées des étoiles de ce catalogue en discutant et en réunissant en un résultat final tous les catalogues fondamentaux publiés à ce jour. Ce fut l'œuvre de Lewis Boss, qui publia en 1910 le *Preliminary General Catalogue* (P. G. C.)

Francis Bailey avait déjà fait un travail analogue en 1845. Il

avait publié un catalogue de 8.377 étoiles, pour chacune d'elles il avait pris la moyenne de toutes les positions obtenues auparavant.

Le catalogue de Boss comprend 6.188 étoiles parmi lesquelles plus de 4.000 sont visibles à l'œil nu. Toutes ces étoiles ont été observées un très grand nombre de fois. Boss utilise les résultats de 80 catalogues différents publiés de 1800 à 1910 ; les principaux sont ceux de Piazzzi, de Bessel, d'Airy, d'Argelander, de Gould, de Gill, de Porter de Tucker, et ceux publiés tout au long du XIX^e siècle par les observatoires de Melbourne, du Cap, de Poulkovo, de Paris, de Greenwich, de Berlin, de Bonn, de Washington et de Cincinnati.

Boss, après avoir déterminé les erreurs systématiques de chacun de ces catalogues, adopte pour position et mouvement propre de chaque étoile les valeurs qui représentent le mieux toutes ces observations.

Le P. G. C. donnait la connaissance la plus précise que l'on pouvait avoir en 1910 des positions et des mouvements de ces 6.188 étoiles. En astronomie stellaire les mouvements propres du catalogue de Boss ont été utilisés pour de nombreuses recherches et ont été considérés comme la meilleure source pour les travaux sur les mouvements stellaires. On considère même comme préférable de réduire les mouvements propres obtenus par la suite à ceux de Boss en leur apportant les corrections convenables.

Depuis on a apporté des corrections systématiques aux positions et aux mouvements du P. G. C. Boss avait annoncé en 1910 la publication d'un General catalogue qui contiendra 25.000 étoiles. L'observatoire d'Albany y travaille et on peut espérer que le G. C. paraîtra bientôt. Il sera d'un grand secours pour l'étude des déplacements stellaires.

Les catalogues à grande extension. — Nous venons de citer les catalogues fondamentaux dans lesquels on cherche à atteindre la plus grande précision possible.

Pour d'autres catalogues on ne s'occupe pas d'obtenir une très grande précision dans les positions, on cherche par contre à observer un très grand nombre d'étoiles. Le plus célèbre de ces catalogues est la Bonner Durchmusterung (désigné par B. D.)

établi par Argelander, Schoenfeld et Krueger, qui contient environ 460.000 étoiles. Les positions et les magnitudes de la B. D. sont malheureusement très mauvaises. L'œuvre d'Argelander fut étendue au ciel anstral par Gould et Thome qui publièrent un catalogue de près de 600.000 étoiles appelé *Südliche Durchmusterung*.

Bien vite on comprit que pour mener à bien l'observation de plusieurs centaines de milliers d'astres, il fallait obtenir la collaboration de nombreux observatoires à un même catalogue.

C'est, je crois, l'astronomie qui a la première obligé les savants à se grouper d'abord en associations nationales, puis en associations internationales pour contribuer à une œuvre commune.

Déjà en 1826, à la demande de Bessel, l'Académie de Berlin avait fait dresser par 17 observateurs un catalogue et des cartes contenant 40.000 étoiles.

A la fin du ^{xix}^e siècle, 21 observatoires et 40 astronomes collaborèrent à l'établissement du catalogue dit de l'Association allemande, qui contient toutes les étoiles jusqu'à la 10^e grandeur.

L'entreprise de la Carte du Ciel et du catalogue astrographique. — Lorsqu'on voulut aller plus loin et observer les étoiles jusqu'à la 13^e et la 14^e grandeur, on se heurta à une difficulté insurmontable : les astres étaient trop nombreux. C'est alors que les frères Henry eurent l'idée d'appliquer la photographie à la détermination des positions stellaires. Ils mirent la méthode au point et aidés par l'amiral Mouchez, firent appel à la collaboration d'autres établissements. 18 observatoires répondirent à cet appel.

De ce travail en commun résultent deux documents d'une ampleur encore inégalée :

Le catalogue astrographique qui donne les positions et grandeurs de 2 millions d'étoiles jusqu'à la 12^e grandeur environ, et la carte du ciel qui comprend environ 30 millions d'étoiles jusqu'à la grandeur 14,5.

Les aires de Kapteyn. — Ainsi, malgré le travail actif de 18 observatoires durant 40 années, on n'était parvenu à enregistrer toutes les étoiles que jusqu'à la 15^e grandeur et à les cataloguer jusqu'à la 12^e. Or l'étude du monde sidéral exigeait la con-

naissance de la répartition des étoiles les plus faibles que l'on put observer.

Kapteyn, fixa alors 250 points répartis uniformément dans le ciel, et proposa d'étudier d'une façon particulièrement approfondie et précise les étoiles situées dans de petites régions entourant ces points. Ces régions s'appellent les « Selected areas » ou « aires de Kapteyn » ou S. A. Elles ont fait l'objet d'études nombreuses dans tous les observatoires du monde, et nous possédons des données précises sur les étoiles de ces régions, jusqu'à la 19^e grandeur. Le seul défaut des S. A. est de n'occuper que le $1/200$ de la surface du ciel, mais cet inconvénient est compensé par la profondeur à laquelle on est parvenu dans la voie lactée pour ces petites surfaces.

La séquence polaire nord. — Nous avons déjà dit que l'un des problèmes essentiels de l'astronomie stellaire, était la détermination des magnitudes d'une série d'étoiles allant des plus brillantes aux plus faibles ; des étoiles voisines du pôle nord pour 1900 ont été choisies pour former cette séquence, appelée séquence polaire nord. Les magnitudes de ces étoiles ont été déterminées par de nombreux observateurs, particulièrement à Harvard et au Mont Wilson ; c'est en réunissant tous les travaux faits sur ce sujet qu'on a établi les valeurs définitives de ces magnitudes qui constituent l'échelle internationale. Ce travail de compilation et de discussion des divers résultats a été fait par entente de tous les astronomes sous la direction de l'union astronomique internationale.

L'Union astronomique internationale. — Toutes les organisations dont nous venons de parler avaient un but restreint, elles se proposaient de mener à bien un travail déterminé : confection d'un catalogue d'étoiles, carte du ciel, étude des étoiles des S. A...

La première association internationale dont l'activité s'est étendue à l'ensemble de l'astronomie est l'union astronomique internationale. Elle fut fondée par les pays alliés en juillet 1919, à l'Assemblée constitutive du Conseil international des recherches scientifiques, réunie à Bruxelles ; elle fut définitivement constituée un an après par l'adhésion des pays convoqués.

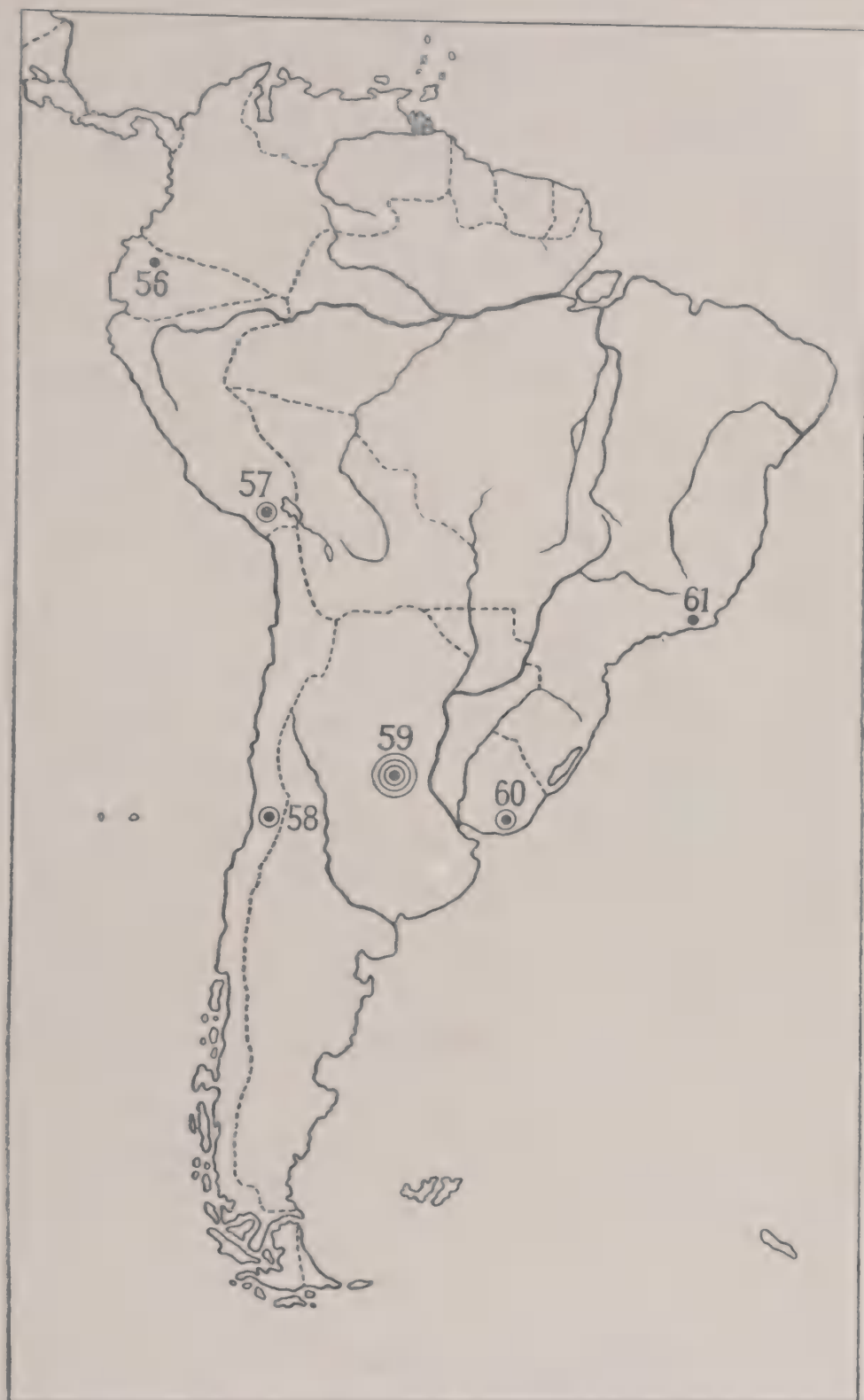


Fig. 7. — Observatoires de l'Amérique du Sud.

56. Quito.
 57. Arequipa.
 58. Santiago.

59. Cordoba.
 60. La Plata
 61. Rio-de-Janeiro.

Le but de l'I. A. U. (International astronomical union) est :

1) De faciliter les relations entre les astronomes des divers pays dans tous les cas où la coopération internationale est nécessaire ou seulement profitable.

2) D'encourager les recherches astronomiques.

Elle réunit actuellement les astronomes de 33 pays :

Allemagne, République argentine, Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Canada, Chine, Tchécoslovaquie, Danemark, Egypte, Esthonie, France, Grande-Bretagne, Grèce, Hollande, Hongrie, Inde, Italie, Japon, Lithuanie, Mexique, Norvège, Pologne, Portugal, Afrique du Sud, Espagne, Roumanie, Suède, Suisse, Etats-Unis d'Amérique.

D'après les statuts, un Comité national est constitué dans chaque pays, il est chargé d'encourager et de coordonner les recherches qui y sont entreprises ; il sert aussi d'intermédiaire entre les astronomes et l'Union.

Dans les votes administratifs, chaque pays a un nombre de voix proportionnel à sa population, mais dans les votes sur les questions scientifiques, chaque astronome présent dispose de sa voix.

L'Union nomme un comité exécutif, composé d'un président, de quatre vice-présidents et d'un secrétaire général. Ce comité prépare les assemblées générales et gère les fonds de l'Union. La trésorerie est subventionnée par les gouvernements des pays adhérents qui cotisent proportionnellement à la population.

Les assemblées générales se réunissent tous les trois ans ; après une séance inaugurale, les membres de l'union se répartissent en diverses commissions, chargées chacune de s'occuper d'une branche particulière de l'astronomie.

Il y a actuellement 35 Commissions ; citons celles qui consacrent leurs travaux à l'astronomie stellaire :

- N° 3. Notations.
- 5. Bibliographie.
- 8. Astronomie méridienne.
- 9. Instruments.
- 14. Longueurs d'onde.
- 23. Carte du Ciel.
- 24. Parallaxes stellaires.

- 25. Photométrie stellaire.
- 26. Étoiles doubles.
- 27. Étoiles variables.
- 28. Nébuleuses.
- 29. Classification spectrale des étoiles.
- 30. Vitesses radiales des étoiles.
- 33. Statistique stellaire.
- 35. Constitution des étoiles.

Les Commissions discutent des mesures à prendre en commun, des recherches à exécuter et présentent des rapports.

L'Union a déjà tenu quatre assemblées générales :

Date	Lieu	Président
1922.....	Rome (Italie)	B. Baillaud (Paris)
1925.....	Cambridge (Gr.-Bretagne)	Campbell (Lick)
1928.....	Leyde (Hollande)	De Sitter (Leyde)
1932.....	Cambridge (Etats-Unis)	Sir Franck Dyson

La prochaine assemblée aura lieu en 1935 à Paris.

L'Union a rendu de nombreux services à l'astronomie stellaire. Après discussion des travaux de photométrie stellaire, la Commission 25 a défini en 1922 une échelle de magnitudes stellaires, dite échelle internationale, et a publié les magnitudes des étoiles de la séquence polaire conformes à cette échelle.

Elle a soutenu l'entreprise de la carte du ciel et a assuré la continuation de l'œuvre des frères Henry.

Elle a organisé un travail de détermination des vitesses radiales stellaires et unifié la classification spectrale des astres.

On doit certainement attendre beaucoup dans l'avenir de cette coopération mondiale de tous les astronomes.

L'organisation du travail. — L'étude de l'astronomie stellaire n'est pas sans présenter quelques difficultés : L'une d'elle réside, tant pour le théoricien que pour le praticien, dans la quantité croissante des résultats publiés.

D'une part il faut éviter de faire un travail d'observation ou de théorie en double, par ignorance des recherches déjà parues ou simplement entreprises ; d'autre part, il importe pour celui qui

veut entreprendre des recherches numériques, d'avoir à sa disposition tous les résultats d'observation concernant le sujet étudié. Or ces résultats sont publiés dans des périodiques et annales nombreux et divers dont le dépouillement complet est très long et que l'on n'est jamais sûr de pouvoir consulter. C'est ainsi que pour réunir les quelques 50.000 mouvements propres actuellement connus il faut compulser environ 200 listes si on veut remonter aux mémoires originaux, et qu'une première difficulté consiste à trouver ces 200 listes.

Aussi depuis une dizaine d'années, a-t-on décidé de publier périodiquement des catalogues généraux, contenant toutes les données concernant une question :

L'observatoire de Hambourg publie régulièrement, depuis 1922, sous la direction de Schorr, la liste de tous les mouvements propres connus.

L'observatoire de Lembang (Java) publie sous la direction de Voûte la liste de toutes les vitesses radiales connues.

L'observatoire d'Yerkes publie sous la direction de Schlesinger les parallaxes déterminées.

Il est probable que l'on ne s'arrêtera pas dans cette voie, et que, en divers points du globe, on réunira sous forme de fichiers tenus constamment au courant, comme à Groningue, tous les documents numériques relatifs à l'astronomie stellaire de manière à tenir à la disposition des chercheurs les documents qui pourraient leur être nécessaires.

La statistique stellaire.

Dénombrements d'étoiles. — Une nouvelle catégorie de recherches sur les positions des étoiles a fait son apparition : On s'y propose non pas de donner les positions plus ou moins précises des astres, mais simplement de dénombrer dans une région déterminée de la sphère céleste, le nombre des astres d'une catégorie donnée, par exemple d'une magnitude et d'un type spectral donnés. C'est par les dénombrements d'étoiles que la statistique stellaire a commencé.

Les premiers dénombrements sont les gauges d'Herschel dont nous avons déjà parlé ; mais par la suite tous les dénombrements

qui ont été faits ont été obtenus en comptant le nombre des étoiles d'une magnitude déterminée qui se trouvent dans les grands catalogues : B. D. Carte du Ciel, Cartes de Franklin Adams, Selected Areas.

Nous pensons qu'il serait fort intéressant de faire des dénombrements d'étoiles par magnitudes sans pour cela cataloguer les étoiles une à une. L'étude de la répartition de toutes les étoiles du ciel jusqu'à la 17^e grandeur par exemple, pourrait aujourd'hui être faite simplement et rapidement. Elle n'exigerait comme instruments que ceux que nous possédons actuellement. Il serait nécessaire par contre de mettre au point un appareil donnant automatiquement le nombre d'étoiles d'une magnitude donnée qui se trouvent sur un cliché. Un tel instrument pourrait être conçu sur le principe du microphotomètre enregistreur de Chalonge et Lambert.

Recherches théoriques de statistique. — Lorsqu'on voulut étudier la répartition des étoiles on s'aperçut qu'il était nécessaire de procéder statistiquement ; le nombre considérable de ces astres ne permettait pas de les considérer individuellement.

La statistique stellaire a été fondée au début de ce siècle par Von Seeliger et Schwarzschild vers 1910. Charlier lui a donné un grand développement théorique et a fondé à l'observatoire de Lund une école de statistique stellaire, ses élèves : Gyllenberg, Wicksell, Malmquist, ont continué les recherches de théorie pure commencées par Charlier et en ont fait de nombreuses applications numériques.

Les laboratoires de statistique. — D'autre part Kapteyn, à Groningue, a fondé un laboratoire d'astronomie. Il demandait aux divers observatoires de lui envoyer les résultats de leurs observations concernant les dénombrements d'étoiles, les parallaxes, les mouvements propres, les vitesses radiales.

En possession d'un matériel considérable il a fait des découvertes dont la plus importante est celle des courants d'étoiles qui portent son nom. A la direction de ce laboratoire que l'on appelle le « Kapteyn astronomical laboratory at Groningue » Van Rhijn a succédé à Kapteyn.

Actuellement on voit se fonder un peu partout des laboratoires de statistique, on y réunit les catalogues de positions, de mouvements, de parallaxes stellaires, publiés dans le monde entier, on classe ces résultats en fiches de manière à faciliter le travail des chercheurs. En statistique il est difficile de travailler sur ses propres résultats d'observation, car ceux-ci sont généralement insuffisants ; on conçoit donc l'importance de ces centres de documentation.



Fig. 8. — Observatoires d'Australie.

127. Perth. 128. Melbourne. 129. Adelaïde.

Les trois principaux problèmes actuels de la statistique stellaire sont :

- 1) Le problème de la détermination de la forme et des dimensions de notre univers et de la densité stellaire en ses diverses parties ;
- 2) Le problème des mouvements stellaires ;
- 3) La dynamique stellaire.

Formes et dimensions de l'Univers. La galaxie de Shapley. — Nous étudierons en détail dans cette collection d'exposés les travaux qui ont été entrepris dans cette voie :

Dès 1905, Von Seeliger avait appliqué sa méthode à l'étude de ce problème pendant que Kapteyn utilisait la méthode de Schwarzschild. Ils avaient conclu que l'univers stellaire a la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati dont le rayon équatorial est de 6.000 à 10.000 parsecs. Le plan équatorial de cet ellipsoïde est le plan galactique, ou plan moyen de la voie lactée. Ces astronomes plaçaient le soleil non loin du centre.

Mais en 1919, Shapley, proposa une autre solution :

Les amas globulaires, au nombre d'une centaine, sont de vastes concentrations stellaires, de forme à peu près circulaire ; la répartition de ces amas sur la sphère céleste présente une symétrie et une concentration frappantes vis-à-vis du plan galactique, ceci prouve que ces amas appartiennent à notre univers galactique ; Shapley, utilisant la propriété des cépheïdes que l'on rencontre dans ces amas, découverte quelques années avant par Miss Leawitt, évalua la distance de ces condensations. Sa méthode, de nature photométrique, et non trigonométrique, est applicable aux astres les plus éloignés.

Shapley détermina ainsi la forme du système formé par ces 100 amas globulaires. Ce système a presque la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati, dont le plan galactique est un plan de symétrie, et dont le centre, qui est éloigné du soleil, est dans la direction de la constellation du Sagittaire. Il eut alors l'idée heureuse, d'admettre que cet ensemble d'amas dessinait les grandes lignes de la galaxie. Il trouvait ainsi que celle-ci est cinq à six fois plus grande que ne l'avait cru Kapteyn et que le soleil est, non pas au centre de cet univers galactique, mais assez près du bord. L'hypothèse de Shapley ne s'appuyait que sur l'étude des amas globulaires. Ainsi en 1920, deux solutions se présentaient pour le problème qui nous occupe.

On s'aperçut peu à peu que la méthode de Schwarzschild ne pouvait donner des résultats précis lorsqu'on ne connaît pas le type spectral des étoiles que l'on étudie, et qu'en tous cas elle ne permettait pas d'explorer l'univers à des distances suffisantes. Ceci est dû à la grande dispersion des magnitudes absolues stellaires. Malgré cela, les travaux qui ont été faits sur ces questions depuis

trente ans ne sont pas inutiles car on peut appliquer les méthodes statistiques aux étoiles de type spectral connu.

Depuis 1920, on s'est donc tourné de plus en plus vers l'hypothèse de Shapley.

Celle-ci a reçu, en 1929, une éclatante confirmation. Sous l'impulsion de son jeune et actif directeur, l'observatoire d'Harvard avait entrepris la mise en œuvre d'un vaste programme d'étude des étoiles variables. Les premiers résultats de cette étude, publiés en 1929, ont confirmé les vues de Shapley sur les dimensions de l'univers stellaire.

Ainsi se trouve résolu, dans ses grandes lignes, le problème et la forme de l'univers galactique, de même que la position du soleil dans celui-ci.

Les univers-îles. — On observe dans le ciel des nébuleuses, dites spirales, dont la nature a longtemps intrigué les astronomes. Sont-elles des nébuleuses gazeuses ou des amas d'étoiles trop serrés pour être résolus dans nos télescopes ? La question est tranchée depuis une dizaine d'années, car Hubble, au Mont Wilson, a réussi à résoudre en étoiles une partie de la nébuleuse Messier 33 du Triangle ; on a même découvert dans ces formations des étoiles variables qui ont permis d'évaluer leurs distances et leurs dimensions.

Dès lors la conception de la galaxie de Shapley se complétait par l'idée que la galaxie est une nébuleuse spirale dans laquelle nous sommes plongés.

L'étude statistique des spirales est entreprise depuis quelques années ; c'est désormais un des sujets les plus passionnants de l'astronomie stellaire statistique.

Ainsi se trouvait éclaircie, dans ses grandes lignes et d'une manière qu'on pourrait croire à peu près définitive, la structure de l'univers stellaire qui nous entoure.

Le système local. L'hypothèse supergalactique. — La voie lactée montre une structure assez complexe. Dans la direction du centre supposé de Shapley on trouve de grandes condensations stellaires, fait qui confirme les vues du directeur d'Harvard. De plus, la voie lactée apparaît sous la forme, soit de traînées, soit de condensations stellaires ellipsoïdales appelées

nuages galactiques. On peut donc admettre que la galaxie est formée par la réunion d'un certain nombre de nuages galactiques.

Or, quelques années avant, en 1914, Charlier était parvenu à un résultat très différent de celui de Shapley, et qui fut confirmé par Seares en 1927.

L'étude des étoiles à hélium, les plus brillants des astres connus, l'avait conduit à une conception différente du monde stellaire. Celui-ci, d'après Charlier, a des dimensions 100 fois plus petites environ que celles de l'univers de Shapley ; son plan de concentration est différent du plan galactique avec lequel il fait un angle de 15° ; son centre se trouve, par rapport à nous, dans la constellation de la Carène et non dans celle du Sagittaire comme le centre trouvé par Shapley.

On a proposé de ce résultat l'interprétation suivante :

Le soleil fait partie d'un nuage galactique, appelé système local, et c'est ce nuage galactique que Charlier a mis en évidence.

L'hypothèse du système local avait été peu à peu abandonnée, elle fut remise en avant, en 1928, lorsque je proposai d'interpréter certains résultats relatifs aux mouvements stellaires comme dus à la rotation de ce système. Shapley lui-même l'adopta, en 1929, comme hypothèse de travail en lui donnant la forme connue sous le nom d'hypothèse supergalactique. On observe dans le ciel, outre des nébuleuses spirales isolées, des amas de spirales ; particulièrement dans les constellations de Coma et de Virgo ; il était assez naturel de penser que la voie lactée est non pas une spirale comme Shapley l'avait admis en 1917, mais un amas de spirales, le système local n'étant que la spirale dans laquelle le soleil se trouve plongé.

Ni l'existence du système local, ni l'hypothèse supergalactique ne sont universellement admises par les astronomes. On peut même affirmer que la majorité de ceux-ci penche en faveur de l'hypothèse galactique simple de Shapley proposée en 1917.

La question est actuellement très controversée, nous lui consacrerons plusieurs fascicules de cette série et nous exposerons le débat tel qu'il se présente maintenant.

Les mouvements stellaires. — L'étude des mouvements stellaires est aussi l'un des problèmes essentiels de la statistique stellaire.

Pour étudier ces mouvements on dispose de deux sortes de données : mouvements propres et vitesses radiales. Le mouvement propre est le déplacement apparent d'une étoile sur la sphère céleste ; les premiers mouvements propres ont été déterminés, comme nous l'avons dit, par Halley ; depuis leur nombre a été en croissant, et c'est grâce à eux qu'ont été faites les premières découvertes concernant les mouvements stellaires.

La vitesse radiale est la vitesse de l'étoile suivant le rayon vecteur, on l'obtient directement en km/sec. par la comparaison du spectre de l'étoile avec celui d'une source terrestre. On n'en connaît un nombre important que depuis vingt ans, les vitesses radiales ont permis de faire des découvertes qui étaient difficiles à faire avec les mouvements propres.

Enfin lorsqu'on connaît le mouvement propre, la vitesse radiale et la distance d'une étoile, on peut calculer en km/sec. les composantes de sa vitesse spatiale suivant trois axes quelconques, ces vitesses spatiales sont d'un maniement très commode, on peut espérer en tirer de nombreux résultats dans l'avenir.

Courants de Kapteyn. — La première découverte concernant les mouvements stellaires avait été faite par Herschel qui avait mis en évidence le mouvement du soleil. Depuis, ce mouvement a été déterminé de nombreuses fois et le nombre actuel des déterminations de l'apex est de plus de 600. Toutes ces déterminations sont assez concordantes.

Il faut attendre jusqu'en 1905 pour trouver un résultat nouveau dans ce domaine. Cela tient à ce que pour faire une découverte en statistique stellaire il faut que le matériel dont on dispose soit assez abondant.

En 1905, on ne connaissait que 8.000 mouvements propres, Kapteyn remarqua que les vitesses stellaires résiduelles, c'est-à-dire après soustraction de la composante due au mouvement solaire, au lieu d'être distribuées au hasard en direction, sont plus nombreuses et plus grandes dans deux directions opposées appelées vertex ; ce phénomène appelé « courants de Kapteyn » fut interprété quelques années après par Schwarzschild sous la forme de l'hypothèse ellipsoïdale ; depuis, le résultat de Kapteyn a été confirmé sous la forme que lui a donnée Schwarzschild. Notons qu'il avait été obtenu avec des mouvements propres.

Equipartition de l'énergie. Courant asymétrique. Rotation de la galaxie. — Les autres découvertes concernant les mouvements stellaires ont été faites au moyen des vitesses radiales.

En 1911, Campbell puis, quelques années après, Seares et Adams, constatent que les étoiles de la galaxie se déplacent en moyenne d'autant plus vite que leurs masses sont plus faibles, de telle manière que leur énergie cinétique moyenne est constante dans la série spectrale. C'est le phénomène de l'équipartition de l'énergie que l'on avait déjà rencontré pour les molécules d'un gaz.

En 1924, Strömberg constate que la vitesse d'ensemble de certaines catégories stellaires diffère systématiquement de la vitesse opposée à celle du soleil et découvre le phénomène connu sous le nom de courant asymétrique de Strömberg. En même temps Oort parvenait à un résultat voisin de celui-ci en étudiant les étoiles à grandes vitesses. Ces résultats s'interprètent par la rotation galactique.

Enfin, en 1927, Oort met en évidence, d'une manière fort ingénieuse, la rotation de la galaxie au moyen de vitesses radiales ; quelles que soient les retouches et les modifications que ces résultats subiront dans l'avenir, on voit que notre époque marque une date importante dans l'étude des mouvements stellaires et nous consacrerons de nombreux fascicules de cette collection à ces problèmes.

Dynamique stellaire. — Une branche nouvelle de la statistique stellaire a été fondée il y a une dizaine d'années : la dynamique stellaire.

Elle se propose d'expliquer les résultats obtenus concernant la répartition et le mouvement des étoiles en se basant sur les principes classiques de la dynamique. Les premières recherches faites dans cette voie datent de 1905 à 1910, et concernent les amas globulaires d'étoiles, pour lesquels Von Zeipel vérifia le principe de l'équipartition de l'énergie. Puis Jeans et Eddington posèrent, en 1917, les principes de la dynamique statistique des étoiles.

Enfin Lindblad, en 1926, proposa une théorie des mouvements stellaires à laquelle nous consacrerons un fascicule de cette série.

Les indices numériques du progrès astronomique.

Il est intéressant de constater la rapidité avec laquelle croît le progrès astronomique.

Comme indices de ce progrès nous avons choisi des quantités qui présentent un intérêt particulier en astronomie stellaire :

Nombre d'étoiles cataloguées à diverses époques

Epoque	Auteur	Nombre
— 130	Hipparque	1.026
+ 1437	Ulugh Beig	1.018
1603	Tycho Brahé et Bayer	1.277
1661	Hevélius	1.553
1725	Flamsteed	2.934
1763	Lacaille	9.766
1800	Lalande Piazzi Bessel	47.000
1850	Bessel Argelander	100.000
1870	B. D.	500.000
1900	B. D. et S. D.	1.000.000
1930	Catalogue photographique	3.300.000

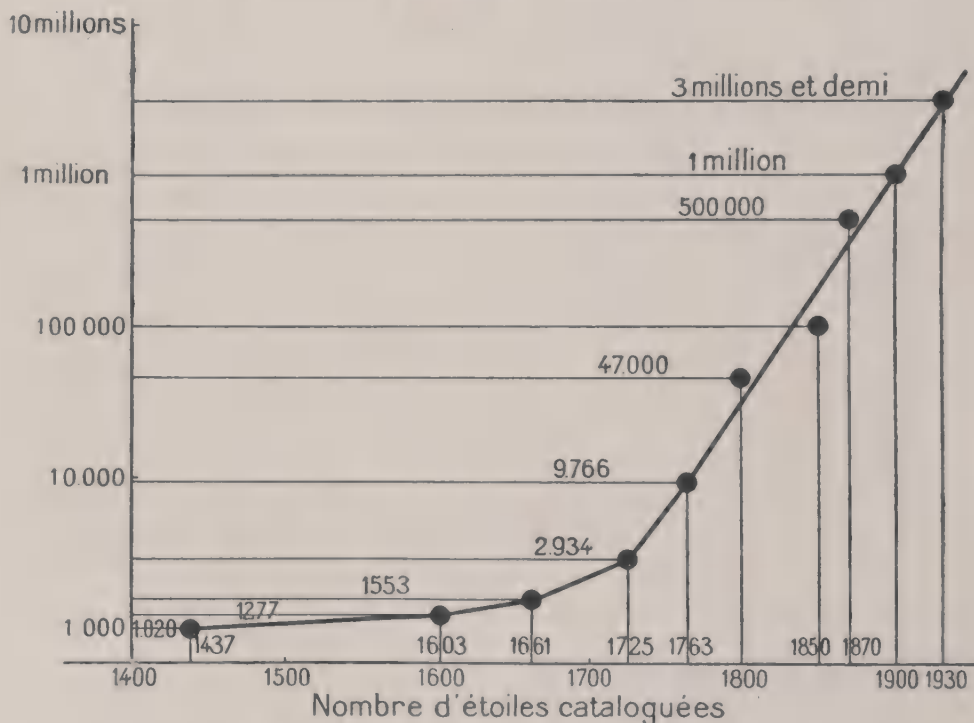


Fig. 9. — Nombre d'étoiles cataloguées à diverses époques

Abcisses : Dates.

Ordonnées : Logarithme du nombre des étoiles cataloguées à chaque époque. On voit que depuis le début du XVIII^e siècle la croissance du progrès astronomique mesuré au moyen du nombre des étoiles cataloguées a suivi une croissance exponentielle.

Nombre de mouvements propres connus

Epoque —	Auteur —	Nombre —
1720	Halley	4
1770	Mayer-Maskelyne	110
1840	—	600
1860	Madler, Argelander	3.200
1900	—	5.000
1910	P. G. C. de Boss	8.000
1916	Prager	15.000
1923	Schorr	22.000
1930	Schorr, Gyllenberg	40.000

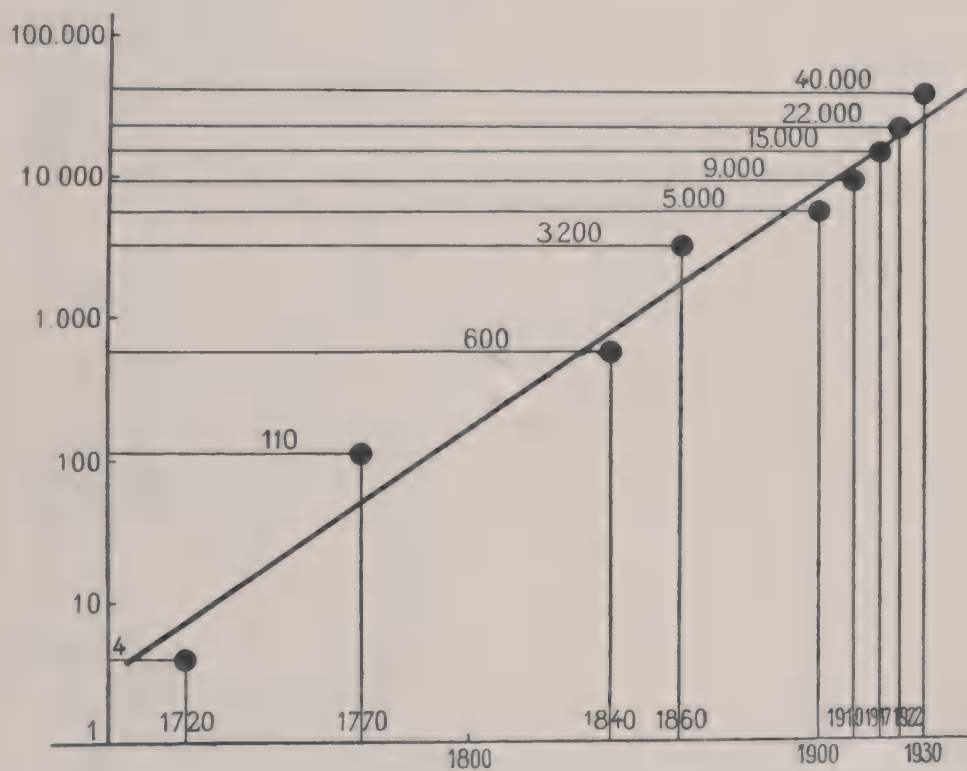


Fig. 10. — Nombre des mouvements propres connus.

Abcisses : Dates.

Ordonnées : Logarithme du nombre de mouvement stellaires déterminés à une certaine date.

Nombre de vitesses radiales connues

Epoque	Auteur	Nombre
1890		50
1900		100
1913	Campbell	1.000
1921	Voûte I	2.300
1930	Voûte II, Lick, M ^t Wilson	5.400
1933	Cat. de Moore	6.700

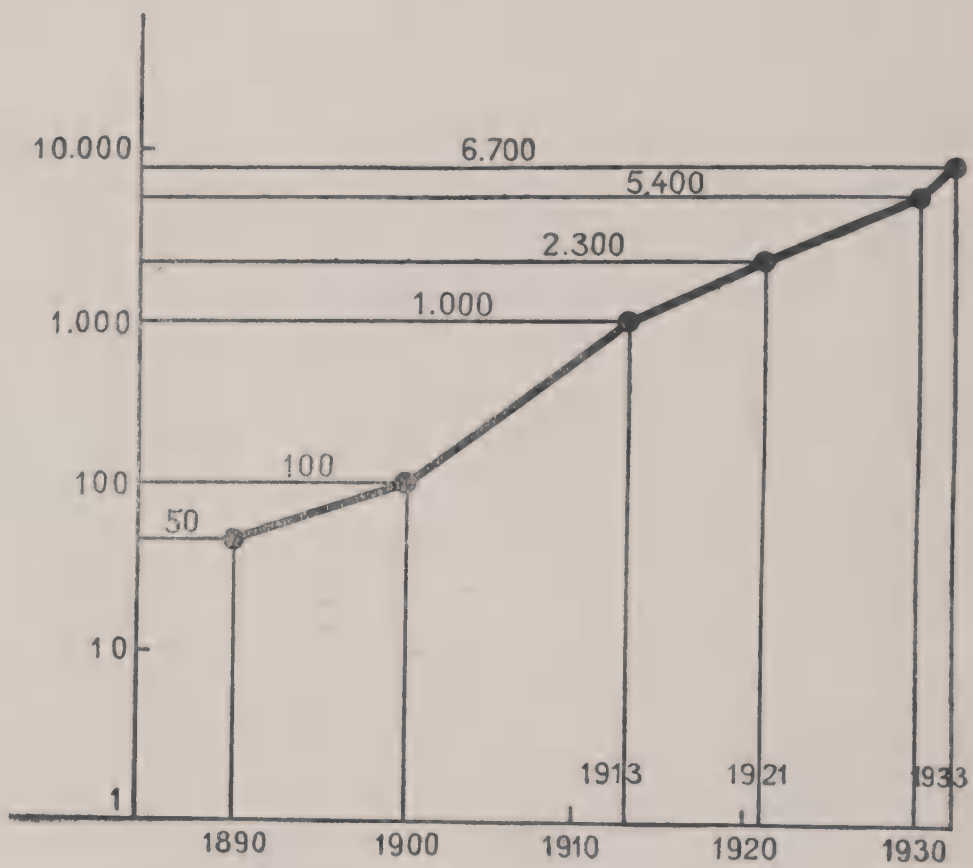


Fig. 11. — Nombre de vitesses radiales connues.

Abcisses : Date.

Ordonnées : Logarithme du nombre de vitesses mesurées à cette date.

Nombre de parallaxes connues

Epoque	Nombre
1830.....	3
1848.....	11
1882.....	34
1895.....	90
1910.....	365
1917.....	625
1924.....	3.500
1930.....	6.000

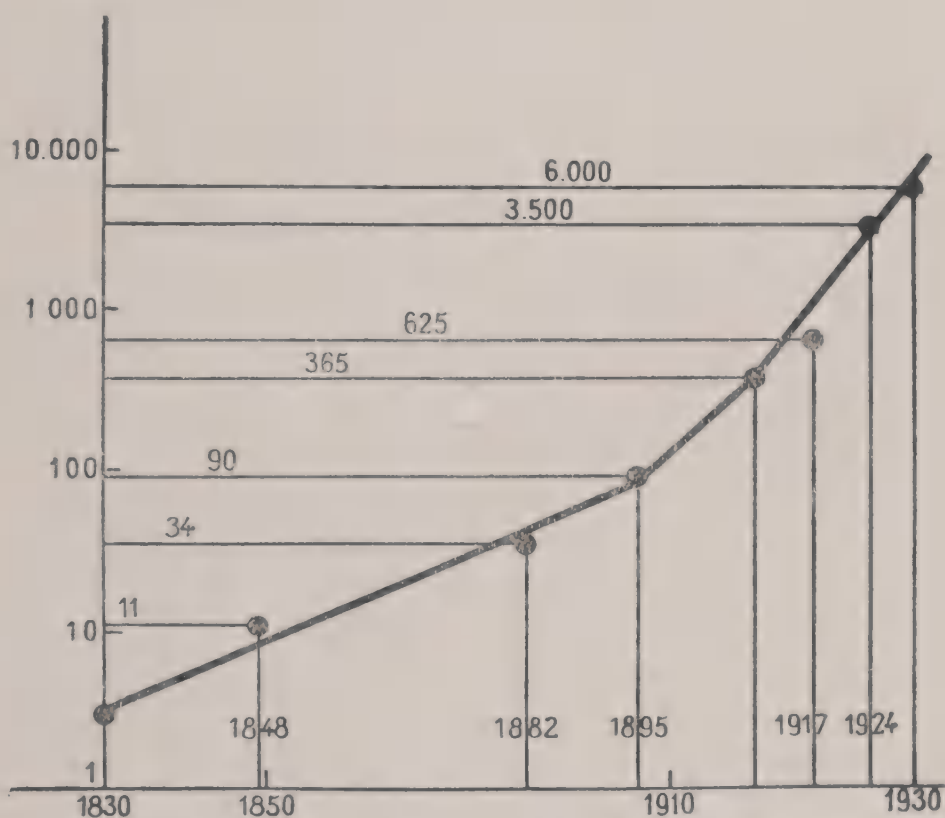


Fig. 12. — Nombre des parallaxes connues.

Abcisses : Date.

Ordonnées : Logarithme du nombre de parallaxes mesurées à cette date.

Nombre d'étoiles variables de période connue

Epoque	Nombre
1600.....	1
1700.....	4
1800.....	11
1850.....	40
1900.....	500
1922.....	1.900
1927.....	3.000
1931.....	5.000

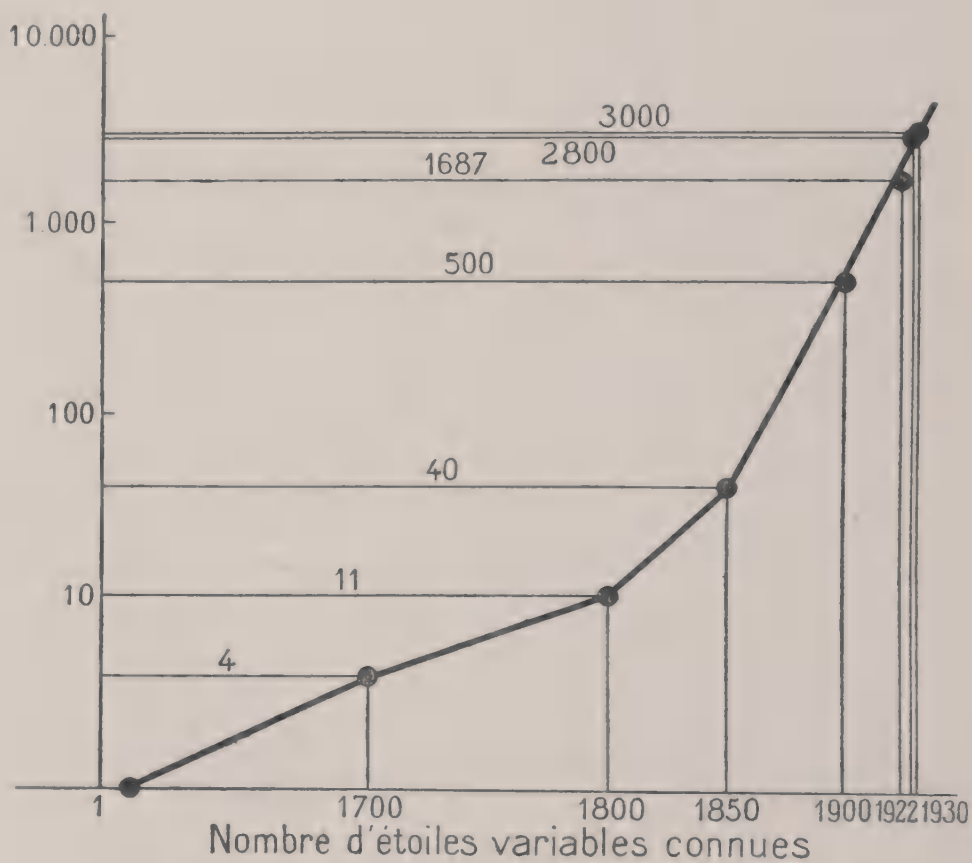


Fig. 13. — Nombre d'étoiles variables de période connue.

Abcisses : Dates.

Ordonnées : Logarithme du nombre d'étoiles variables de période connue.

Pour représenter graphiquement la variation du progrès astronomique au cours des âges (fig. 9 à 13), on a porté en abscisse le temps t , et en ordonnée non pas, par exemple, le nombre N des étoiles cataloguées, mais le logarithme de ce nombre, autrement la courbe n'aurait pas été visible dans toutes ses parties.

Avec une telle représentation (t , $\log N$) une ligne droite représente une exponentielle :

$$N = A10^{K \cdot t}$$

où A et K sont des constantes.

Or, tous les graphiques montrent des courbes tournant leur concavité vers le haut, donc plus rapidement croissantes que des lignes droites.

Ainsi : jusqu'à présent le progrès astronomique a crû plus vite qu'une exponentielle.

On peut remarquer que les extrémités droites des courbes sont des lignes droites. Voici les constantes K correspondant à chacune d'elles.

	K
Nombres d'étoiles	0,015
» de mouvements propres connus	0,014
» de vitesses radiales connues.....	0,05
» de parallaxes connues.....	0,06
» d'étoiles variables de période connue.....	0,024

On voit que K est plus élevé pour les vitesses radiales et les parallaxes que pour les étoiles cataloguées ; il semble qu'à un moment on connaîtra les vitesses radiales et les parallaxes de toutes les étoiles cataloguées.

On peut chercher au bout de combien de temps nous connaissons les données précédentes pour les trente milliards d'étoiles de notre galaxie, si la loi $N = 10^{K \cdot t}$ se continuait ; en adoptant $K = 0,015$, on voit que ce résultat serait obtenu dans sept siècles ; mais ces considérations sont quelque peu fantaisistes, car elles supposent que les lois de croissance observées jusqu'à présent resteront valables dans l'avenir.

Enfin il est intéressant de connaître avec quelle précision on a déterminé au cours des âges la position des étoiles ; nous distinguerons à partir du XIX^e siècle la précision des grands catalogues et celles des mesures les plus soignées que l'on pouvait faire à l'époque.

Erreur moyenne dans l'observation de la position d'une étoile.

Observations courantes de position	Observations les plus précises pour déterminer la parallaxe ou le mouvement propre
— 130 Hipparque... $20' = 1200''$	
1437 Ulugh Beigh.. $10' = 600''$	
1602 Tycho Brahé. $4' = 240''$	
1661 Hévelius.....	
1725 Flamsteed ... $10''$	
1763 Lacaille..... $6''$	1800 Piazzzi..... $1''5$
1800 Lalande..... $5''$	1840 Bessel..... $0''3$
1870 B. D..... $4''$	1879 Auwers..... $0''1$
1900 Association allemande..... $1''$	1900 Newcomb Boss..... $0''03$
1930 Catalogue photographique. $0''4$	1930 Van Maanen..... $0''003$

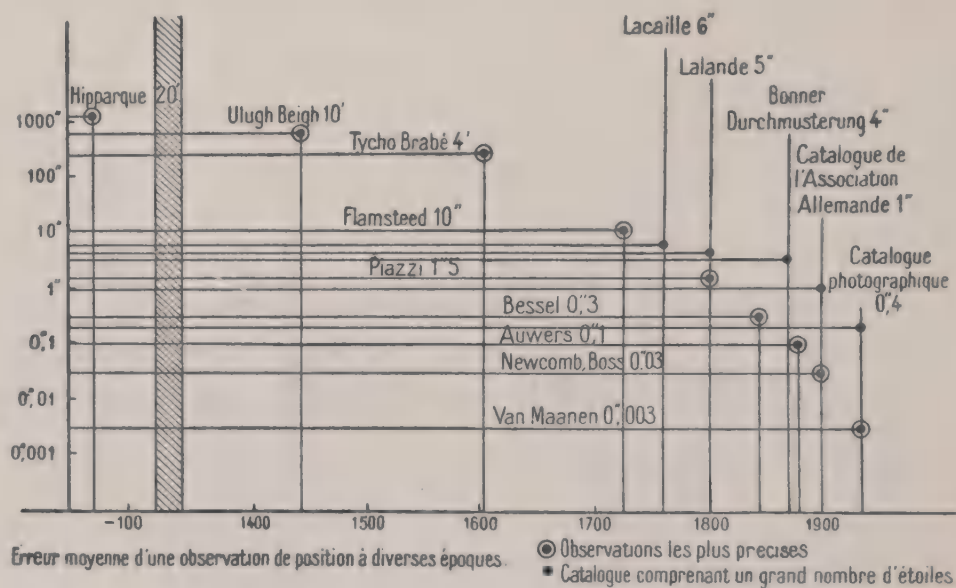


Fig. — 14. — Erreur moyenne d'une observation de position stellaire.

Abcisses : Dates.

Ordonnées : Logarithme de l'erreur moyenne. A partir de 1800 on a distingué entre les observations courantes et les observations les plus précises destinées à déterminer les parallaxes.

La figure 14 est obtenue en portant en abscisse le temps, et en ordonnée le logarithme de l'erreur ϵ des observations.

On voit que ε décroît plus vite qu'une exponentielle ; adoptons cependant

$$\varepsilon = A10^{-K \cdot t}.$$

On constate que K est le même pour les observations les plus précises et les observations courantes, seul A diffère :

$$K = 0,018.$$

Là encore nous constatons que le progrès astronomique croît exponentiellement.

Nous en tirerons une application intéressante concernant les mouvements propres.

Cette courte étude du progrès de l'astronomie stellaire nous donne confiance dans l'avenir, car en statistique une découverte se produit dès que le matériel fourni par l'observation atteint une certaine abondance ; la croissance rapide du matériel mis à notre disposition par les observatoires du monde entier nous promet, pour un avenir proche, des découvertes importantes.



Saint-Amand (Cher). — Imprimerie R. BUSSIÈRE. — 4-1-1934.

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie}

6, rue de la Sorbonne, Paris V^e

P. AUGER. L'effet photo-électrique des rayons X	5 fr.
E. BLOCH. L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta	90 fr.
MARCEL BOLL. Exposé électronique des lois de l'électricité.....	15 fr.
— L'idée générale de la mécanique ondulatoire et de ses premières applications	15 fr.
— L'électron et les phénomènes chimiques.....	5 fr.
— La synthèse des ondes et des corpuscules, d'après l'ou- vrage de K. DARROW, 1931	10 fr.
LEON BRILLOUIN. Les nouvelles statistiques quantiques. Les électrons dans les métaux	5 fr.
L. DE BROGLIE. Recueil d'exposés sur les ondes et corpuscules, broché ..	20 fr.
Relié.....	30 fr.
— Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire, broché	85 fr.
Relié	95 fr.
— Théorie de la quantification dans la nouvelle mécanique.	70 fr.
CAMPBELL. La théorie électrique moderne. Théorie électronique	50 fr.
— La relativité. Théorie quantique des spectres.....	25 fr.
— La structure de l'atome.....	28 fr.
CHWOLSON. Traité de physique en 14 fascicules et deux suppléments..	823 fr.
EDDINGTON. Etoiles et atomes.....	35 fr.
RENÉ FORTRAT. Introduction à l'étude de la physique théorique, 7 fasci- cules. Chaque fascicule broché.....	10 fr.
Relié.....	14 fr.
VICTOR HENRI. Physique moléculaire. Matière et Energie.....	110 fr.
VICTOR HENRI. Structure des molécules.....	30 fr.
MIE. Principe de la théorie Einsteinienne et de la gravitation	10 fr.
H. OLLIVIER. Cours de physique générale (3 ^e édition) :	
Tome I	85 fr.
Tome II	65 fr.
Tome III	100 fr.
MAX PLANCK. Thermodynamique	45 fr.
PERRY. Mécanique appliquée, en 2 volumes.....	100 fr.
RICHARD P. La gamme.....	28 fr.
THOMPSON (S.). Radiations visibles et invisibles.....	25 fr.
THOMPSON (Sir J. J.). Les rayons d'électricité positive	30 fr.
WOLFERS. Eléments de la physique des rayons X.....	25 fr.
— Sur quelques nouvelles propriétés de la lumière et des rayons X.	14 fr.

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie}
6, rue de la Sorbonne, Paris V^e

Actualités Scientifiques et Industrielles

Série 1929, 1930, 1930 :

(Voir deuxième page de la couverture).

Série 1932 :

XXXI. L. DE BROGLIE. Généralisation des relations d'incertitude.....	6 fr.
XXXII. IRÈNE CURIE et F. JOLIOT. L'existence du neutron.....	6 fr.
XXXIII. JEAN-LOUIS DESTOUCHES. Etat actuel de la théorie du neutron.....	18 fr.
XXXIV. S. ROSENBLUM. Origine des rayons gamma ; structure fine du spectre magnétique des rayons alpha.....	12 fr.
XXXV. A. MAGNAN. Premiers essais de cinématographie ultra-rapide.....	15 fr.
XXXVI. A. SAINTE-LAGUE. Probabilités et morphologie.....	6 fr.
XXXVII. N. MARINESCO. Influence des facteurs électriques sur la végétation.....	7 fr.
XXXVIII. ANDRÉ GEORGE. Mécanique quantique et causalité.....	6 fr.
XXXIX. L. BRILLOUIN. Notions de mécanique ondulatoire ; les méthodes d'approximation.....	10 fr.
XL. E. BAUER. Critique des notions d'éther, d'espace et de temps, cinématique de la relativité.....	7 fr.
XLI. F. PERRIN. La dynamique relativiste et l'inertie de l'énergie.....	6 fr.
XLII. L. DE BROGLIE. Conséquences de la relativité dans le développement de la mécanique ondulatoire.....	6 fr.
XLIII. G. DARMOIS. La théorie Einsteinienne de la gravitation, les vérifications expérimentales.....	7 fr.
XLIV. E. CARTAN. Le parallélisme absolu et la théorie unitaire du champ..	6 fr.
XLV. P. LANGEVIN. La relativité, conclusion générale.....	6 fr.
XLVI. A. MAGNAN. Cinématographie jusqu'à 12.000 vues par seconde.....	15 fr.
XLVII. CH. FRAIPONT et SUZANNE LECLERQ. L'évolution, adaptations et mutations. Berceaux et migrations.....	9 fr.
XLVIII. CH. FRAIPONT. Adaptations et mutations. Position du Problème..	6 fr.
XLIX. HANS REICHENBACH. La philosophie scientifique ; vues nouvelles sur ses buts et ses méthodes.....	10 fr.
L. P. SWINGS. Les bandes moléculaires dans les spectres stellaires.....	7 fr.
LI. H. BRASSEUR. Structure et propriétés optiques des carbonates.....	7 fr.

Série 1933 :

52. G. URBAIN. La symbolique chimique, Première partie.....	12 fr.
53. G. URBAIN. La coordination des atomes dans la molécule et la symbolique chimique. Deuxième partie.....	12 fr.
54. M. CHATELET. Spectres d'absorption visibles et ultra-violet des solutions.....	7 fr.
55. L. LEPRINCE-RINGUET. Les transmutations artificielles : particules alpha, neutrons, protons, rayons cosmiques.....	15 fr.
56. E. NÉCULCÉA. Sur la théorie du rayonnement.....	7 fr.
57. G. FOURNIER et M. GUILLOT. Sur l'absorption exponentielle des rayons β du radium E.....	10 fr.
58. JEAN PERRIN. La recherche scientifique.....	6 fr.
59. L. BRILLOUIN. La diffraction de la lumière par des ultra sons.....	10 fr.
60. A. MAGNAN et A. SAINTE-LAGUE. Le vol au point fixe.....	10 fr.
61. M. PRETTE. L'inflammation et la combustion explosive au milieu gazeux. Première partie : Hydrogène et oxyde de carbone.....	15 fr.
62. P. CURIE. Les rayons α , β , γ , des corps radioactifs en relation avec la structure nucléaire.....	12 fr.
63. H. MINEUR. L'Univers en expansion.....	12 fr.
64. T. CAHN. Les phénomènes biophysiques dans le cadre des sciences exactes.....	6 fr.
65. A. MAGNAN et A. PLANIOL. Sur l'excédent de puissance des oiseaux.....	8 fr.
66. A. MAGNAN et A. PLANIOL. Sur l'excédent de puissance des insectes.....	8 fr.
67. J. TRILLAT. Organisation et principes de l'enseignement en U. R. S. S.....	12 fr.
68. E. MEYERSON. Réel et déterminisme dans la physique quantique.....	10 fr.
69. P. URBAIN. Les sciences géologiques et la notion d'état colloïdal.....	18 fr.
70. L. GOLDSTEIN. Les théorèmes de conservation dans la théorie des choses électroniques.....	9 fr.
71. L. BRILLOUIN. La méthode du champ self-consistant.....	12 fr.
72. E. CARTAN. Les espaces métriques fondés sur la notion d'aire.....	12 fr.
73. P. SWINGS. Molécules diatomiques. Études des termes spectraux.....	12 fr.
74. P. SWINGS. Spectres moléculaires. Étude des molécules diatomiques.....	14 fr.
75. G. CHAMPETIER. La structure de la cellulose dans ses rapports avec la constitution des sucres.....	8 fr.
76. R. CARNAP. L'ancienne et la nouvelle logique.....	8 fr.
78. VERA DANTCHAKOFF. Le devenir du sexe.....	15 fr.